



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
Ano 2013

**Ana Luísa
Oliveira Reis**

**Influência dos comportamentos no consumo
energético de edifícios**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica
Ano 2013

**Ana Luísa
Oliveira Reis**

Influência dos comportamentos no consumo energético de edifícios

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

“Somos a memória que temos e a responsabilidade que assumimos.
Sem memória não existimos, sem responsabilidade, talvez não
mereçamos existir”

José Saramago

O júri

Presidente

Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

As minhas primeiras palavras de agradecimento são dirigidas ao Prof. Doutor Nelson Martins, pela disponibilidade, pelo exemplo, pelo apoio académico e pela motivação.

Agradeço ainda à Professora Marta Lopes que muito contribuiu e continua a contribuir para a minha formação. Agradeço as frequentes e enriquecedoras trocas de ideias com que presenteou ao longo de toda a minha carreira académica.

À minha família e aos meus amigos, porque sem eles nada disto faria sentido. Agradeço ainda a forma como souberam compreender as minhas prolongadas ausências e os meus horários pouco ortodoxos

Obrigado pela força e pelos melhores momentos da minha vida;

A todos, muito Obrigado.

Palavras-chave

Comportamento dos ocupantes; Simulação dinâmica de edifícios, Edifícios do setor de serviços.

Resumo

O consumo energético dos edifícios é influenciado por vários fatores relacionados com as características e o tipo de controlo dos sistemas do edifício, alguns deles fortemente dependentes do comportamento dos ocupantes. O comportamento dos ocupantes é também uma das mais importantes fontes de incerteza na previsão do consumo de energia dos edifícios através de ferramentas computacionais de simulação. A forma como os ocupantes definem os critérios de conforto e a resposta ao desconforto do meio envolvente afeta significativamente o consumo energético dos edifícios.

Com este trabalho pretende-se desenvolver uma metodologia de análise dos comportamentos relevantes envolvidos na redução do consumo energético no setor dos edifícios, especialmente no setor de serviços. Especificamente ambiciona-se estudar e relacionar a influência quantitativa dos comportamentos dos ocupantes dos edifícios face à consequente redução do consumo de energia através de simulação dinâmica.

Este estudo é suportado pela utilização intensiva da simulação dinâmica de edifícios através do *software DesignBuilder®* de forma a avaliar o impacto do comportamento dos ocupantes no consumo de energia em edifícios de serviços, nomeadamente escritórios. O comportamento típico dos ocupantes e a sua interação com o edifício neste estudo restringe-se ao controlo dos sistemas AVAC, iluminação e equipamentos. O comportamento é classificado em três perfis, o ocupante referência representativo dos ocupantes em geral, o ocupante eficiente sendo este pró-ativo na poupança de energia e o ocupante ineficiente sem qualquer preocupação com o consumo energético.

Os resultados das simulações demonstram que o impacto do comportamento dos ocupantes no consumo de energia nos edifícios de serviços é significativo tanto no consumo total de energia do edifício como a nível da utilização final de energia, tais como, aquecimento, arrefecimento, iluminação e equipamentos. Deste modo torna-se essencial aprofundar a compreensão sobre o uso de energia num edifício exigindo assim uma perspicaz percepção do comportamento do ser humano.

Keywords

Occupant behaviour; Dynamic building simulation, Service sector buildings

Abstract

Energy consumption in buildings is influenced by several factors associated to the buildings' characteristics and the type of control systems, some of which are strongly related to the occupants' behaviour. Occupants' behaviour is also one of the most important sources of uncertainty when it comes to predicting the energy consumption of buildings by using computational simulation tools. The way occupants define their criteria on comfort along with the response to the discomfort affects significantly the buildings' energy consumption.

This paper's aim is to develop a methodology to analyze relevant behaviours involved in the reduction of energy consumption regarding the buildings sector, particularly the services sector. It specifically aims to study and establish a relation with the quantitative influence of the occupants' behaviour in face of the resulting energy consumption reduction using a dynamic simulation.

This study is supported by the intensive use of dynamic simulation of buildings through DesignBuilder ® software to assess the impact of the occupants' behaviour on the energy consumption in service buildings, namely offices. Typical occupants' behaviour and their interaction with the building in this case are restricted to the HVAC systems control, lighting and equipments. Occupant Behaviour is classified in three profiles, the reference occupant who represents the common occupant, the efficient occupant who is proactive in saving energy and the inefficient occupant who has no care whatsoever towards the building energy consumption.

Simulations' results demonstrate that the impact of occupants' behaviour on the energy consumption of services buildings is significant both in total energy consumption of the building and final energy use, such as, heating, cooling, lighting and equipments. Thus it becomes essential to deepen the comprehension of energy use in a building which demands an astute perception of human behaviour.

ÍNDICE

1.Introdução.....	1
1.1. Sumário	1
1.2. Contextualização.....	1
1.3. Objetivo da dissertação.....	4
1.4. Revisão Bibliográfica.....	4
1.4.1. A influência do comportamento dos ocupantes no consumo de energia dos edifícios .	4
1.4.2. Simulação dinâmica de edifícios.....	8
1.4.3. Simulação energética de edifícios e o comportamento dos ocupantes	9
1.5 Contribuição do estudo	12
1.6 Organização da dissertação	13
2. O consumo de energia e comportamento.....	14
2.1. Sumário	14
2.2. Consumo final de energia no setor de serviços.....	14
2.3. Determinantes do comportamento dos ocupantes	16
2.4. Simulação dos comportamentos dos ocupantes: Um processo complexa	19
2.5. Meios de impacto do comportamento dos ocupantes no consumo energético dos edifícios.....	22
3. Metodologia de Estudo.....	25
3.1. Sumário	25
3.2. Objetivos e metodologia geral adotada	25
3.3. Caracterização do edifício.....	26
3.3.1. Atividade	27
3.3.2. Soluções construtivas	30
3.3.3. Aberturas.....	31
3.3.4. Iluminação.....	31
3.3.5. AVAC	32
3.4. Estudo paramétrico	33
3.4.1. Clima	33

3.4.2. Sistemas AVAC.....	34
3.4.3. Iluminação.....	35
3.4.4. Equipamentos	36
4. Resultados e discussão	38
4.1. Sumário	38
4.2. Repartição do consumo de energia em pequenos edifícios de serviços.....	38
4.3. Alterações provocadas pelos ocupantes no consumo de energia em pequenos edifícios de serviços	42
4.4. Repartição do consumo de energia em grandes edifícios de serviços	48
4.5. Alterações provocadas pelos ocupantes no consumo de energia em grandes edifícios de serviços	52
4.6. Alterações provocadas pelo conjunto de ações do comportamento dos ocupantes.....	58
4.7. Discussão.....	60
5. Conclusão.....	65
5.1. Sumário	65
5.2. Conclusões Gerais	65
5.3. Trabalho futuro	67
Bibliografia.....	69
Apêndices.....	73
Anexos.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final de eletricidade nos diferentes setores na EU-27 em 2010	15
Figura 2 – Repartição do consumo de eletricidade pelas várias utilizações finais nos serviços ..	16
Figura 3 – Divisão por categorias dos determinantes do comportamento dos ocupantes	18
Figura 4 – Determinantes predominantes do comportamento dos ocupantes para a abertura de janelas, ajuste do set-point de aquecimento e controlo dos sistemas de sombreamento	19
Figura 5 – Influência das ações comportamentais, através dos determinantes, no consumo de energia dos edifícios.....	22
Figura 6 – Diferentes meios de impacto da presença e comportamentos com as necessidades térmicas dos edifícios de forma a assegurar o conforto dos ocupantes e das suas atividades	24
Figura 7 – Metodologia utilizada na simulação dos comportamentos dos ocupantes	26
Figura 8 – Representação dos edifícios modelos representativos de pequenos edifícios de serviços a) e grandes edifícios de serviços b).....	27
Figura 9 – Padrões de referência de utilização de edifícios típicos de escritórios para a ocupação e outros equipamentos de acordo com o [7]	29
Figura 10 - Padrão de referência de utilização de edifícios típicos de escritórios para a iluminação de acordo com o [7]	31
Figura 11 – Horário de funcionamento dos sistemas AVAC nos edifícios de serviços.....	32
Figura 12 – Representação das zonas climáticas de Inverno e de Verão segundo o RCCTE.....	34
Figura 13 – Consumo de energia [kWh] por localização do consumo do perfil ocupante de referência em pequenos edifícios de serviços.....	39
Figura 14 – Distribuição do consumo energético por uso final [kWh/ano] dependente da localização em pequenos edifícios de serviços	40
Figura 15 – Distribuição do consumo energético dependente da localização em termos percentuais (%) em pequenos edifícios de serviços	41
Figura 16 – Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços do Porto em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	43
Figura 17 - Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços de Lisboa em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	44
Figura 18 - Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços de Faro em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	45
Figura 19 – Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do aquecimento para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	46
Figura 20 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do arrefecimento para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	46

Figura 21 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte da iluminação para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	47
Figura 22 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte dos equipamentos para os pequenos edifícios de serviços em relação ao ocupante referência....	48
Figura 23 - Consumo total de energia [kWh] por localização do perfil <i>ocupante de referência</i> em grandes edifícios de serviços	49
Figura 24 - Distribuição do consumo energético por uso final [kWh/ano] dependente da localização em grandes edifícios de serviços	50
Figura 25 - Distribuição do consumo energético dependente da localização em termos percentuais (%) em grandes edifícios de serviços	51
Figura 26 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços do Porto em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	53
Figura 27 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços de Lisboa em termos percentuais através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	54
Figura 28 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços de Faro em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência	55
Figura 29 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do aquecimento para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	56
Figura 30 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do arrefecimento para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	56
Figura 31 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte da iluminação para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	57
Figura 32 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte dos equipamentos para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência	58
Figura 33 – Influência da combinação das ações realizadas pelos ocupantes no consumo total de energia do edifício de pequenos serviços. Variação percentual do consumo de energia em relação ao ocupante referência.....	59
Figura 34 - Influência da combinação das ações realizadas pelos ocupantes no consumo total de energia do edifício de grandes serviços. Variação percentual do consumo de energia em relação ao ocupante referência.....	60
Figura 35 – Níveis de iluminância no pequeno edifício de serviços (a) e grande edifício de serviços (b).....	62
Figura 36 – Representação do pequeno edifício de serviços através do <i>DesignBuilder</i>	74
Figura 37 - Representação do pequeno edifício de serviços através do <i>DesignBuilder</i>	74
Figura 38 – Coeficientes de transmissão térmica de referência estabelecidos no [8]	93
Figura 39 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos para edifícios de serviços [7]	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudos realizados sobre a influência do comportamento dos ocupantes na abertura de janelas.....	7
Tabela 2 – Características utilizadas na definição do separador atividade exercida no edifício	28
Tabela 3 – Densidade de ocupação e equipamento representativo dos edifícios de escritório de acordo RSECE [7].....	28
Tabela 4 – Soluções construtivas utilizadas na caracterização dos edifícios de serviços situados no Porto de forma a cumprir os requisitos do coeficiente de transmissão térmica estabelecido no [7]	30
Tabela 5 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no [7] para edifícios de serviços (Gabinetes).....	32
Tabela 6 – Dados relativos às simulações realizadas em termos de consumo energético para as três localizações para os pequenos edifícios de serviços.....	41
Tabela 7 – Dados relativos às simulações realizadas em termos de consumo energético para as três localizações para os pequenos edifícios de serviços.....	51
Tabela 8 – Diferenças do consumo de energia com e sem arrefecimento gratuito	63
Tabela 9 – Soluções construtivas utilizadas na caracterização dos edifícios de serviços situados em Lisboa e Faro de forma a cumprir os requisitos do coeficiente de transmissão térmica estabelecido no RCCTE ..	73
Tabela 10 – Resumo dos perfis criados representativo de cada ocupante e horários utilizados na configuração de cada ação resultante do comportamento dos ocupantes	75
Tabela 11 - 5% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC.....	81
Tabela 12 - 5% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos	82
Tabela 13 – 10% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC	82
Tabela 14 - 10% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos	83
Tabela 15 - 20% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC.....	83
Tabela 16 - 20% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos	84
Tabela 17 – Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado no Porto	86
Tabela 18 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado em Lisboa	87
Tabela 19 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado em Faro.....	88
Tabela 20 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado no Porto	89
Tabela 21 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado em Lisboa	90
Tabela 22 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado em Faro.....	91

Tabela 23 – Resultados obtidos na simulação do consumo de energia específico através da combinação dos comportamentos dos ocupantes para os pequenos edifícios de serviços localizados nas três cidades	92
Tabela 24 - Resultados obtidos na simulação do consumo de energia específico através da combinação dos comportamentos dos ocupantes para os grandes edifícios de serviços localizados nas três cidades	92

ACRÓNIMOS

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CFD	<i>Computational fluid dynamics</i>
EPBD	<i>Energy Performance Building Directive</i>
GES	Grande Edifício de Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEE	Indicador de Eficiência Energética
PES	Pequeno Edifício de Serviços
PIB	Produto Interno Bruto
RCCTE	Reglamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Reglamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Reglamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Reglamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
SED	Síndrome do Edifício Doente
Tep	tonelada equivalente de petróleo
U	Coeficiente de transmissão térmica
UE	União Europeia
VAB	Valor Acrescentado Bruto

1.Introdução

1.1. Sumário

Neste capítulo será introduzido o tema da simulação dinâmica de edifícios e a influência do comportamento dos ocupantes no consumo energético. Iniciando por um enquadramento do tema e apresentação dos objetivos propostos para a presente dissertação, será posteriormente descrita o estado da arte desta temática e o contributo e organização deste trabalho.

1.2. Contextualização

Enquanto em 1970 a crise do petróleo, em conjunto com a iminente escassez de energia, foram os principais motivos para a promoção da eficiência energética, a partir dos anos 80 as consequências negativas do uso de energia fóssil para o ambiente, em particular o aquecimento global, tornaram-se as principais razões para estudar a utilização da energia [1]. As mudanças climáticas induzidas pelo Homem, através das emissões de gases com efeito de estufa, são consideradas um dos maiores problemas da geração.

No que respeita ao consumo final de energia na UE-27 verificou-se que este representa cerca de 153 milhões de *tep* em 2010, equivalente a 65,6% do consumo interno bruto [2]. Em termos de desagregação setorial do consumo final de energia verifica-se que existem três setores dominantes, sendo eles o setor dos transportes com cerca de 31,7%, o setor residencial com 26,7% e a indústria com 25,3% [2].

O setor dos edifícios, ou seja, setor residencial e setor de serviços em conjunto, obtêm uma parcela de aproximadamente 40% do total do consumo de energia final, sendo assim um setor de importância crescente em termos da aplicação de medidas de racionalização e eficiência energética [2]. Do total da energia consumida na Europa, estima-se que cerca de 26% é utilizada em edifícios residenciais e 13% em edifícios “não-residenciais”, considerados edifícios de serviços [3]. O setor de serviços, apesar de pouco estudado, é o que tem verificado maior crescimento no consumo de energia e estima-se que o seu crescimento desde 2005 até 2030 seja superior a 26%, quando comparado com o crescimento de apenas 12% para o setor residencial [4].

Devido a este aumento do consumo energético no setor dos edifícios várias iniciativas para reduzir o consumo de energia têm sido propostas. Por exemplo, a Comissão Europeia lançou em 2002 a directiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios (EPBD – Energy Performance Building Directive) 2002/91/EC que estabelece que os Estados Membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios exigindo também que o sistema certificado abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e de serviços [3]. A Diretiva da UE (2006/32) relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, prevê que os estados membros devem reduzir o consumo de energia em 9% até 2016, em relação à sua média dos cinco anos anteriores a 2006 [5].

O EPBD foi transposto para Portugal a 4 de Abril de 2006, através da publicação de três Decretos-Lei, que no seu todo, fazem a transposição completa da Diretiva [6]. Assim, em Portugal, vigoram três diplomas relacionados com a certificação energética e o desempenho energético em edifícios, sendo o Decreto-Lei n.º 78/2006, relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Decreto-Lei n.º 79/2006 [7], que aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 80/2006 [8], que aprova o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [6]. No entanto, com a publicação da Diretiva nº 2010/31/UE, do Parlamento Europeu do Conselho, a 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi reformulado o regime estabelecido pela Diretiva nº 2002/91/CE [6]. Deste modo, a *transposição para o direito nacional da nova Diretiva gerou a oportunidade de melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos* [6]. Assim, o presente diploma assegura não só a transposição da Diretiva em referência, mas também uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [6]. A atualização da legislação nacional existente envolve alterações a vários níveis, com destaque, em primeiro lugar, para as modificações estruturais e de sistematização, pela aglutinação, num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada em três diplomas distintos [6]. Em segundo lugar, a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando aquele a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e este último sobre os de comércio e serviços, facilita o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, ao mesmo tempo que reconhece as especificidades técnicas de cada tipo de edifício naquilo que é mais relevante para a caracterização e melhoria do desempenho energético [6].

Estima-se que o potencial existente para poupança energético no setor de serviços é de cerca de 20% [9]. Entender quando e como o setor de serviços usa energia é vital para compreender e influenciar essa redução de 9% até 2016 [5].

Um dos determinantes do consumo energético dos edifícios mais relevante mas também mais subestimados são os comportamentos dos ocupantes dos edifícios [10]. O consumo de energia dos edifícios é estreitamente ligado com as características de utilização e operação do espaço e com o comportamento dos seus utilizadores [11]. Os ocupantes têm influência no edifício através da sua presença e atividade e devido às suas ações de controlo para melhorar as condições ambientais no interior dos edifícios (térmicas, qualidade do ar, iluminação, ruído, etc.) [11]. Dada a procura de construções mais sustentáveis serão construídos mais edifícios passivos [11]. Consequentemente, o peso do comportamento dos ocupantes dos edifícios sobre o balanço energético aumenta [11].

Um grande número de estudos têm sido realizados ao longo dos últimos anos para perceber como é que os ocupantes dos edifícios interagem com sistemas dos edifícios e como simular o desempenho e o ambiente dos edifícios [12]. Isto é normalmente designado na literatura como “simulação de edifícios” ou “simulação do desempenho dos edifícios” e torna-se uma área de análise de todos os aspetos relacionados com o ciclo de vida dos edifícios [12].

Uma das formas de prever o consumo de energia dos edifícios são os programas de simulação energética dos edifícios que fornecem índices de desempenho [12]. A maioria dos programas de simulação atuais não lida com as atividades realizadas pelos ocupantes dos edifícios e com a utilização do espaço ao contrário da ferramenta de simulação *EnergyPlus* [13],[14]. O *software EnergyPlus* é considerado o estado da arte dos *softwares* de simulação energética de edifícios e é largamente utilizada por especialistas e iniciantes da simulação [12]. É um programa de simulação energética de edifícios para simular características dos edifícios como aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia [15]. O *DesignBuilder* é conhecido como a mais compreensiva e abrangente interface para o *software EnergyPlus* [15]. A simulação energética para estimar o desempenho energético do edifício tem-se tornado um método aceite de avaliação durante o processo de conceção do edifício [11].

Vários esforços têm sido dedicados à identificação dos impactos do comportamento dos ocupantes no consumo de energia dos edifícios. São vários os fatores que influenciam o consumo de energia nos edifícios levando à falta de precisão em identificar os efeitos isolados dos comportamentos individuais dos ocupantes. Assim, perante o desafio de reduzir o impacto ambiental e energético dos edifícios, torna-se importante entender e analisar as interações dos ocupantes com o ambiente interior dos edifícios, a fim de proporcionar condições confortáveis de forma mais eficiente.

1.3. Objetivo da dissertação

Com a presente dissertação pretende-se desenvolver uma metodologia de análise dos comportamentos relevantes envolvidos na redução do consumo energético no setor dos edifícios, particularmente no setor de serviços. Pretende-se estudar e relacionar a influência quantitativa dos comportamentos dos ocupantes dos edifícios face à consequente redução do consumo de energia através de simulação dinâmica.

A metodologia aplicada neste trabalho é baseada em simulações através do *DesignBuilder*. Este software é a primeira interface gráfica exaustiva para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*, que permitirá identificar e quantificar possíveis medidas de promoção de eficiência energética através dos comportamentos dos ocupantes dos edifícios de serviços. Esta informação irá facilitar a implementação de futuras ações para a redução dos custos globais e operacionais do consumo de energia.

1.4. Revisão Bibliográfica

1.4.1. A influência do comportamento dos ocupantes no consumo de energia dos edifícios

A eficiência energética nos edifícios é significativamente afetada pelas ações, atitudes e presença dos ocupantes [16]. Edifícios desocupados exigem pouca ou nenhuma energia, no entanto, uma grande quantidade de energia é consumida quando se pretende garantir que as condições ambientais nos edifícios, tais como, temperatura, iluminação, ventilação, etc., sejam “confortáveis” para os seus utilizadores [16]. Assim, a forma como os ocupantes se comportam e interagem com os sistemas dos edifícios para garantir níveis de conforto aceitáveis pode ter um enorme impacto no consumo energético. Com o aumento da exigência da legislação para atingir uma diminuição global do consumo energético dos edifícios, o papel desempenhado pelos ocupantes tornar-se-á cada vez mais importante [17],[18],[19]. Devido ao fato de que o consumo energético dos edifícios pode variar significativamente, mesmo quando os sistemas dos dois edifícios são idênticos, sugere que o consumo de energia depende não só das características do edifício e que o comportamento do ocupante pode ter um profundo impacto sobre a eficiência energética.

Hoje em dia, cada vez mais, a interação entre os ocupantes e o edifício, como por exemplo, através do controlo dos sistemas de aquecimento e ventilação, é pensada de modo a influenciar fortemente a redução do consumo energético [20], [21], [22]. Assim, torna-se

essencial avaliar a influência do comportamento dos ocupantes no rendimento energético dos edifícios uma vez que pode ser um fator-chave no objetivo de atingir melhorias energéticas [11]. O conhecimento sobre os determinantes do comportamento também vai ajudar na tentativa de perceber quais os efeitos da regulamentação, referente aos edifícios, sobre o consumo de energia [11].

As condições do ambiente interior dos edifícios são dependentes, em grande parte, das características do edifício [10]. No entanto, as preferências de conforto variam entre pessoas. O controlo das condições interiores (ventilação, temperatura, etc.) poderá conseguir provocar um forte impacto na interação entre as pessoas e o edifício [12].

Segundo Haas et al. [17] e Filippin et al. [23], o comportamento dos ocupantes afeta o consumo energético na mesma proporção que os parâmetros mecânicos, tais como equipamentos e aparelhos, no entanto, é fundamental o conhecimento das ações dos ocupantes dos edifícios de modo a obter uma melhor compreensão e uma melhor previsão do desempenho do edifício tal como uma operação mais eficiente dos sistemas do edifício.

Apenas recentemente demonstrou-se que o comportamento dos utilizadores dos edifícios desempenha um papel fundamental na quantidade de energia consumida. Vários são os estudos [24],[25],[26],[27] que relacionam o comportamento dos ocupantes com os sistemas de controlo do ambiente interior do edifício e investigam a existência de padrões relacionados com abertura/fecho de janelas, ligar/desligar o sistema de aquecimento e a unidade de ar condicionado (AC), abertura/fecho de sistemas de sombreamento e a sua relação com as condições climáticas internas e externas.

O objetivo principal destas pesquisas é alcançar um melhor conhecimento sobre o que leva as pessoas a alterar certos padrões relacionados com o controlo dos sistemas e perceber quais as suas consequências energéticas, de modo a ser possível prever com maior precisão o desempenho dos sistemas dos edifícios, não prescindindo do nível de conforto dos ocupantes [24]. Deste modo, os estudos têm sido realizados em edifícios protótipos ou reais onde são recolhidas informações relativas à ocupação, estado e frequência de utilização dos sistemas de controlo, tais como, o manuseamento do termostato, sistemas de sombreamento, janelas e qualidade do ambiente interior, tendo em conta ainda outros fatores, como a orientação do edifício, a posição solar, entre outros [24],[27],[28].

Os estudos sobre os efeitos do comportamento dos ocupantes podem ser divididos em duas categorias [29]. Enquanto a primeira categoria concentra-se essencialmente nos efeitos da presença dos ocupantes nos edifícios, a segunda categoria diz respeito aos efeitos das ações destes ocupantes e a sua influência no consumo de energia [29].

Particularmente, as ações tomadas pelos indivíduos podem ser novamente divididas em duas classes: por um lado, atitudes que os ocupantes tomam de modo a aproximar o meio envolvente ao seu conforto, e por outro lado, os próprios ocupantes podem adotar medidas de forma a se adaptarem às condições preexistentes [29]. No primeiro caso, são exemplos de ações o ajuste do *set-point* do aquecimento/arrefecimento, abertura/fecho das janelas, ligar/desligar a iluminação e o ajuste dos dispositivos de sombreamento solar [29]. A segunda classe corresponde à adaptação do vestuário e a ingestão de bebidas quentes/frias [29].

Em climas temperados, as janelas são, na maioria dos casos, o dispositivo de controlo térmico mais comum em todo o edifício [26]. Assim, quando os ocupantes sentem calor, na maioria das vezes, optam pela abertura de janelas, sendo esta a maneira mais frequente de arrefecimento do ambiente interior, verificando-se igualmente a situação contrária [26]. Esta atitude de abertura das janelas é útil para economizar energia nas estações quentes, reduzindo-se, desta forma, a necessidade de recurso à refrigeração e/ou arrefecimento mecânico, sendo que proporciona igualmente uma interação benéfica entre o ambiente interior e exterior [26]. Na Tabela 1 são apresentados alguns estudos sobre a influência do comportamento específico da abertura de janelas no contexto atrás descrito.

Tabela 1 – Estudos realizados sobre a influência do comportamento dos ocupantes na abertura de janelas

Autoria	Região	Tipo de edifício	Conclusão	Referência
<i>Warren e Parkins</i>	Reino Unido	5 Edifícios de escritórios com ventilação natural	Verificaram que a temperatura do ar exterior era responsável por 76% da interação dos ocupantes com as janelas e que o ganho solar (8%) e a velocidade do vento (4%) também desempenhavam um papel importante.	[30]
			Averiguaram que a abertura de janelas de dimensões menores relacionava-se com os requisitos dos ocupantes relativamente à qualidade do ar interior enquanto janelas de maiores dimensões eram abertas devido à temperatura exterior e ganhos solares.	
<i>Raja et al.</i>	Reino Unido	15 Escritórios ventilados naturalmente	Verificaram que a proporção de janelas abertas aumenta com o incremento da temperatura interior e exterior	[31]
<i>Nicol</i>	Vários países com diferentes climas	-	Aferiu que os ocupantes abriam as janelas quando a temperatura exterior era superior a 10°C em todos os países em que a pesquisa foi realizada. À medida que aumenta a temperatura exterior há um incremento na probabilidade de uma janela aberta.	[32]
<i>Herkel et al.</i>	Alemanha	21 Escritórios	Verificaram que a maior percentagem de janelas abertas foi alcançada quando a temperatura exterior era de 20°C. Para níveis de temperatura mais elevados, a percentagem de janelas abertas diminuía. Além disso, descobriram que a correlação entre a percentagem de janelas abertas devido à temperatura interior era menor do que a correlação com a temperatura exterior.	[33]

Esta dissertação pretende focar-se particularmente na categoria de ações que os ocupantes tomam para adaptar o meio envolvente ao seu conforto, visto que são as que mais afetam diretamente o consumo energético.

1.4.2. Simulação dinâmica de edifícios

O processo de desenvolvimento de *software* para cálculo energético dos edifícios iniciou-se a partir de uma primeira e segunda geração designadas por “métodos simplificados”, onde as formulações matemáticas implementadas eram muito elementares e caracterizadas por muitas suposições simplificadas [34].

O primeiro *software* desenvolvido (*software* de primeira geração) surgiu a partir da implementação de procedimentos manuais, tipicamente caracterizado por sistemas simplificados e operações em condições de estado estacionário, proporcionando resultados pouco precisos [34]. Posteriormente, os modelos de segunda geração que foram introduzidos já levavam em consideração alguns aspetos da dinâmica dos edifícios para avaliar a evolução do desempenho energético [34]. Por último e atualmente utilizado, os modelos de terceira geração surgem normalmente designados por “métodos dinâmicos”, isto porque, graças ao desenvolvimento de tecnologias computacionais, estes modelos podem simular simultaneamente fluxos de calor, consumo de energia elétrica, iluminação, tendo em conta os efeitos inerciais, ou seja, a acumulação na estrutura do edifício de energia térmica excedentária e a sua posterior libertação, desfasada no tempo [35]. Embora estes últimos modelos possam estar disponíveis através de aplicações computacionais com uma interface gráfica mais fácil e intuitiva e várias funções que ajudam no processo de entrada de dados, eles exigem alguma experiência de manuseamento por parte do utilizador [36]. Atualmente, uma grande variedade de programas de simulação encontram-se disponíveis, tal como, *ESP-r*, *DOE-2*, *BLAST*, *EnergyPlus*, *TRNSYS*, etc. [34]. Os seus níveis de complexidade variam desde cálculos em estado estacionário a programas mais sofisticados, como a simulação *CFD* [34].

Assumindo que a simulação é uma representação teórica do funcionamento de um edifício verifica-se que o programa não consegue replicar uma dinâmica inteiramente real relativamente ao consumo de energia. O clima é uma das variáveis que pode contribuir para esta discrepância, visto depender dos dados meteorológicos disponíveis. Para além desta, outras variáveis podem alterar o desempenho do edifício como a idade das instalações, o número atual de horas de funcionamento e a manutenção [37]. Mais importante ainda é a forma como o comportamento dos ocupantes do edifício afeta o desempenho energético atual [37]. Todos os projetos de construção dos edifícios baseiam-se em suposições acerca da utilização

do mesmo, podendo, no entanto, ser utilizado de forma distinta do que o seu projetista previu, afetando deste modo a veracidade dos resultados das simulações [37].

Deve-se ter em conta que o comportamento dos ocupantes enquadra-se entre as expectativas e a realidade [38]. Por exemplo, segundo a bibliografia que sustenta esta temática, diferentes hipóteses têm surgido para modelar o comportamento dos ocupantes no que concerne à abertura de janelas [22],[10],[26],[27],[33]. Os pressupostos são baseados em horários definidos com base na ocupação do edifício ou na expectativa de que a abertura da janela possa ser controlada por fatores como a temperatura, a humidade, o vento, a chuva ou com o objetivo de produzir um fluxo de ar estável [10],[26]. Estes pressupostos não representam necessariamente o comportamento atual dos ocupantes e, por esta razão, torna-se necessário a utilização de algoritmos que definam a interação dos ocupantes com os sistemas de controlo do edifício baseado em estudos reais realizados em edifícios [22],[12]. Na realidade, alguns algoritmos já foram integrados nos *softwares* de simulação, de modo a explicar com mais precisão alguns aspetos pontuais do consumo de energia dos edifícios, como por exemplo, o modelo de *Lightswitch-2002* [39]. Apesar de já existir uma plataforma para integração de modelos de ocupação num *software*, não existe ainda um conjunto de modelos interligados que tenham em consideração todos os aspetos do comportamento dos ocupantes[37].

1.4.3. Simulação energética de edifícios e o comportamento dos ocupantes

O comportamento dos ocupantes pode originar grandes efeitos no consumo de energia do edifício resultando assim em enormes lacunas entre o desempenho energético real e previsto [10]. Estas diferenças derivam essencialmente da concretização prevista e real do edifício, das instalações técnicas bem como a utilização real dos sistemas operadas pelos ocupantes [10].

Segundo um estudo experimental realizado durante três anos em residências multifamiliares na Suíça, Branco et al. [18] observaram que o consumo real de energia foi 50% mais elevado que o consumo de energia previsto. Esta diferença deveu-se essencialmente às reais condições de utilização dos sistemas técnicos e às reais condições climáticas [18]. Além disso, um outro fator que contribuiu para esta variação resulta do facto que os pressupostos feitos sobre o comportamento dos ocupantes não estavam de acordo com o comportamento real dos ocupantes [18]. Deste modo um modelo mais realista dos padrões dos comportamentos diminuiria a diferença entre a utilização de energia prevista e real.

Se um ocupante de um edifício é exposto exatamente às mesmas condições durante várias vezes ele não irá reagir da mesma forma todas as vezes [16]. Como consequência, o seu comportamento, por natureza, incluirá vários elementos de aleatoriedade [12],[28].

Atualmente, uma das formas de simular o comportamento dos ocupantes passa por ferramentas de simulação energética de edifícios [38],[27]. As típicas ações humanas (controle da iluminação, cortinas e janelas) são simuladas com base em horários fixos ou regras pré-definidas (por exemplo, a janela está sempre aberta caso a temperatura interna ultrapasse um determinado limite) [26]. Os programas de simulação reproduzem várias vezes o desempenho do edifício através de equações numéricas que simulam comportamentos determinísticos [16]. Desta forma, “simulação do comportamento dos ocupantes” refere-se a uma simulação computacional gerada através de “horários fixos dos ocupantes” que representam um comportamento fictício do ocupante do edifício durante um tempo específico [14,38].

Frequentemente, o comportamento dos ocupantes não é especificamente abordado nos programas de simulação sendo apenas simulado através do efeito que o comportamento provoca [16]. Por exemplo, a taxa de infiltração pode ser modelada como um valor fixo que não varia ao longo do tempo, com o pressuposto de que os utilizadores dos espaços irão manipular dispositivos, como as janelas, de forma a atingir essa taxa de infiltração [24].

Por outro lado, existem modelos relativos ao comportamento humano baseados em algoritmos estatísticos que preveem a probabilidade de um acontecimento [16]. Por exemplo, os modelos empíricos existentes relativamente ao funcionamento de janelas tendem a basear-se em algoritmos estatísticos que preveem a probabilidade de um evento ocorrer ou que ocorreu (tal como a abertura de uma janela) em determinadas condições ambientais [16]. Esses modelos estatísticos baseiam-se em observações reais da interação de uma pessoa com o facto de abrirem uma janelas em edifícios permitindo estabelecer uma correlação estatística entre o “estado da janela” (aberta, parcialmente aberta, fechada) e a temperatura externa, a hora do dia, a estação, as condições ambientais internas, entre outros. [16].

Por outras palavras, esses modelos consideram o funcionamento de uma janela como um processo estocástico, onde a probabilidade de um evento acontecer baseia-se em fatores ambientais (interiores e exteriores) [16]. Além disso, os edifícios contêm vários ocupantes onde interagem uns com os outros e o comportamento deles pode divergir entre os múltiplos ocupantes [16]. Sobre este assunto, J.A. Clarke [41] propôs um modelo probabilístico do desconforto e um modelo probabilístico das ações realizadas em resposta a esse desconforto de forma a modelar estocasticamente o comportamento dos ocupantes dos edifícios.

A maioria das ferramentas de simulação de edifícios integra os efeitos da presença dos ocupantes nos seus cálculos de uma forma muito simplificada, geralmente considerando a

presença dos ocupantes de acordo com um horário fixo e multiplicando o número de ocupantes do edifício por valores fixos de ganhos de calor [16]. Outros perfis relativamente a equipamentos de baixa potência ou ganhos de iluminação também podem ser inseridos numa base similar [16].

A interação dos ocupantes com a abertura das janelas tende a ser definida através de horários fixos ou respostas determinísticas aos estímulos físicos [16],[10]. Segundo Dutton [42] os *softwares* de simulação energética de edifícios, tais como o *EnergyPlus* e *ESP-r*, combinam a simulação de sistemas de ventilação com simulação de energia térmica. Visto que os efeitos térmicos influenciam o desempenho dos sistemas de ventilação, fica claro que a combinação da simulação da ventilação com a energia térmica fornece desempenhos térmicos dos edifícios mais realísticos e melhor previsão do funcionamento da ventilação [16],[22].

Hoes et al. [11] conduziram um estudo de simulação dos efeitos do comportamento dos ocupantes no desempenho energético de edifícios e concluíram que a simples abordagem utilizada nos dias de hoje na avaliação de projetos aplicando ferramentas numéricas são inadequadas para os edifícios que têm interações estreitas com os ocupantes.

Dear et al. [43] propuseram um modelo adaptativo de conforto térmico, incluído na versão recente da ASHRAE 55 e da norma de conforto europeia EN 15251, que se baseia numa equação de regressão relacionando a temperatura interior mínima e máxima aceitável com a temperatura exterior média mensal. Este modelo baseia-se na noção de que o nível de adaptação e expectativa dos ocupantes está fortemente correlacionado com as condições climáticas exteriores [43]. Como base no modelo adaptativo de conforto acredita-se que o ocupante, consciente ou inconscientemente, desempenha um papel ativo na obtenção das condições térmicas ideais [43]. É importante destacar que a escolha da abordagem adaptativa numa fase de projeto de um edifício envolve proporcionar aos ocupantes dos edifícios oportunidade de interagir com os controlos [43].

Quando se utiliza o modelo adaptativo no projeto de um edifício, é expectável que os ocupantes adaptem o ambiente interior às suas necessidades [43]. Isto significa, que nesses edifícios, espera-se que os ocupantes interajam estreitamente com os controlos do edifício disponíveis. Como consequência, o comportamento dos ocupantes torna-se cada vez mais importante na determinação da qualidade do ambiente interior e no desempenho energético dos edifícios. Em tais casos, torna-se ainda mais importante considerar o comportamento dos ocupantes na fase de projeto [43]. Em geral, segundo os estudos realizados verifica-se que os ocupantes sentem-se mais confortáveis quando têm maior liberdade de escolha para adaptar as suas condições de forma intuitiva e clara [44].

Uma das técnicas usualmente utilizada na simulação energética passa por simular a

influência dos ocupantes por meio de fatores de diversidade, tais como, “perfis de diversidade” para as várias categorias de ganhos internos e tipos de edifícios, de modo a estimar o impacto dos ganhos de calor internos (ocupantes, equipamentos de escritório e iluminação) no consumo de energia [26],[37],[45]. Os perfis dependem do tipo de edifício (residencial ou de serviços) e por vezes do modelo de ocupante (por exemplo, o tamanho e composição de um agregado familiar) [37].

Nos últimos anos, o número de estudos sobre as interações dos ocupantes com os sistemas de controlo do espaço ambiente tem aumentado com o objetivo de estabelecer uma ligação entre as ações de controlo (ou o estado dos dispositivos controlados pelos seus utilizadores) e os parâmetros ambientais exteriores e interiores [16],[24],[28],[32],[37].

Por um lado, mesmo que a maioria dos estudos sobre o comportamento dos ocupantes sejam conduzidos em sistemas isolados, tais como, iluminação, dispositivos de sombreamento, entre outros existem diferenças significativas entre os estudos em termos do tamanho e tipo dos modelos de edifícios, dos dispositivos de controlo relevantes (persianas, janelas, etc.), da duração do estudo observacional, medição de fatores ambientais e precisão das medições [16]. No entanto, estes estudos têm fornecido uma série de informações valiosas acerca das circunstâncias e possíveis estímulos que provocam as ações por parte dos ocupantes dos edifícios [16]. Por outro lado, dada a complexidade da simulação do comportamento dos ocupantes dos edifícios relacionada com o consumo de energia, torna-se necessário estudos suplementares mais vastos e de longo prazo (geograficamente e culturalmente) de modo a se obter em modelos mais realistas do controlo das ações dos ocupantes [16].

1.5. Contribuição do estudo

O principal contributo do estudo descrito nesta dissertação consiste em propor uma metodologia de análise quantitativa do impacto de comportamentos significativos e relevantes na redução do consumo energético de edifícios no setor de serviços. Poucos são os estudos de carácter quantitativo sobre a influência dos ocupantes no consumo energético dos edifícios no setor de serviços e este estudo ambiciona contribuir para aumentar a informação útil através do simular computacional do comportamento dos ocupantes. Através da simulação dinâmica dos consumos energéticos associado a comportamentos dos ocupantes, pretende-se identificar e compreender a importância relativa dos determinantes do comportamento dos ocupantes no setor de serviços, a avaliar o potencial associado à intervenção sobre os comportamentos na promoção da eficiência energética neste setor de atividade. Esta informação é fundamental para a justificação quantitativa de medidas destinadas à promoção da eficiência energética

através de ações concertadas e direcionadas à manipulação do comportamento dos ocupantes.

1.6. Organização da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

O *Capítulo 1* é constituído pela introdução da dissertação. Nela são discutidos o âmbito do trabalho, de modo a enquadrar e justificar o presente trabalho bem como os respetivos objetivos deste. Ainda neste capítulo procede-se à necessária e útil revisão bibliográfica de forma a entender o estado da arte desta temática.

No *Capítulo 2* é feita uma revisão, ainda sobre o estado da arte, mas mais especificamente sobre quais os determinantes que poderão afetar o comportamento dos ocupantes no que concerne ao consumo energético dos edifícios e quais as limitações e dificuldades da simulação do comportamento dos ocupantes visto ser uma característica que varia de pessoa para pessoa.

O *Capítulo 3* trata da conceção e implementação da parte prática da presente dissertação, caracterizando o edifício, o qual será objeto de estudo. Ainda inserido neste Capítulo é apresentada a metodologia geral adotada e respetiva descrição do estudo paramétrico da simulação dinâmica do comportamento dos ocupantes.

No *Capítulo 4* são discutidos e analisados os principais resultados do estudo paramétrico provocados pela variação de certos parâmetros estabelecidos na metodologia.

No *Capítulo 5* são expostas as principais conclusões globais decorrentes deste trabalho, verificar se foram cumpridos os objetivos propostos e ainda discutidas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. O consumo de energia e comportamento

2.1. Sumário

Neste capítulo proceder-se-á inicialmente à caracterização do consumo de energia no setor de serviços, seguido de uma descrição e análise de quais os determinantes do comportamento dos ocupantes dos edifícios relacionados com o consumo energético sendo posteriormente discutida as limitações e dificuldades existentes no estado da arte sobre a introdução da variável comportamental dos ocupantes na simulação dinâmica de edifícios.

2.2. Consumo final de energia no setor de serviços

Neste trabalho o setor de serviços abrange atividades relacionadas com o comércio, finanças, imóveis, serviços públicos de administração, educação e saúde [9]. Este setor de atividade representa uma grande percentagem do PIB da União Europeia [46]. Sabe-se que cerca de 50% do valor acrescentado bruto é gerado pelo setor de serviços [46].

A compreensão da evolução do uso de energia e das emissões de CO₂ neste setor requer dados detalhados por uso final (aquecimento, refrigeração, iluminação, etc.) e por subsetor (administração pública, hotelaria, educação, saúde, etc.) [9]. No entanto, a informação a este nível de detalhe é atualmente muito limitada, mesmo para os países da IEA (*International Energy Agency*) [9].

Em 2010, o peso do consumo de energia final do setor de serviços na EU-27 foi de cerca de 13,2% em relação aos principais setores de atividade económica. O consumo final de energia nos serviços tem vindo a crescer nos últimos anos. Em 1999, o consumo final de energia dos serviços na EU-27 foi de 123.476 *ktep*, enquanto em 2010 esse valor foi de 152.338 *ktep* [46].

Ao contrário do consumo final de energia no setor residencial, neste setor ainda não existe uma tendência de diminuição no consumo de energia [46]. No entanto, verificou-se uma ligeira diminuição entre 2008 e 2009, sendo que o consumo decresceu de, respetivamente, de 144.074 *ktep* para 143.295 *ktep* em 2009 [46]. Esta diminuição deve-se muito provavelmente ao resultado da crise financeira e económica em 2008 [46]. Com o aumento do PIB *per capita* verificado entre 2009 e 2010 verificou-se simultaneamente o aumento do consumo final de energia neste setor [46].

Entre 1990 e 2010, o consumo total de energia nos serviços na EU-27 cresceu cerca de 40,42%, sendo que maior parte desse crescimento ocorreu na UE-15 [46]. No entanto a tendência altera-se ligeiramente durante o período de 2000 a 2010, sendo que o aumento do consumo nesse período foi de 32,38%. Nos últimos anos, o consumo de energia no setor de serviços na EU-27 continuou a crescer, com taxas de crescimento na ordem do 12,12% entre 2005 e 2010 [46].

Relativamente à evolução da intensidade energética do VAB dos serviços em Portugal, este apresentou uma tendência ligeiramente negativa entre 2000 e 2004 e, desde então, têm vindo a diminuir significativamente [47]. Entre 2000 e 2010, a intensidade energética diminuiu cerca de 4,4% [47]. Do mesmo modo, o consumo de energia por funcionário também diminuiu de 0,7 *tep*/funcionário em 2000 para 0,66 *tep*/funcionário em 2010 [47].

Em termos de distribuição do consumo energético por fonte, o setor terciário é responsável por uma parcela de 29,41% do consumo total de eletricidade na UE-27 em 2010 (Figura 1) [46]. É, portanto, o terceiro maior consumidor de energia elétrica depois do setor industrial com 36,47% e o setor residencial com 29,71% [46]. A tendência é para que este consumo de eletricidade continue a aumentar nos serviços, visto que apresentava um consumo de 588.559 GWh em 1999 e 834.117 GWh em 2010 na UE-27 [46]. Entre 1990 e 2010, o consumo de eletricidade no setor de serviços aumentou cerca de 92,61% na EU-27 [46]. Isto reflete a enorme importância dos dispositivos elétricos como aparelhos de iluminação, equipamento de escritório e ar condicionado [48]. Um maior acesso à eletricidade também representou um papel importante em alguns países em desenvolvimento [48]. O principal fator que influenciou o consumo de energia no setor de serviços é o nível de atividade económica [48].

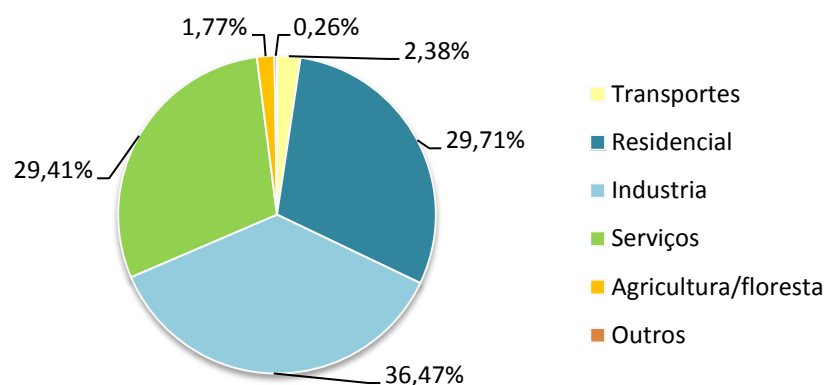


Figura 1 – Consumo final de eletricidade nos diferentes setores na EU-27 em 2010

Fonte: [46]

Verificou-se que no que respeita à utilização final de eletricidade no setor dos serviços (Figura 2), os dados consolidaram-se mais fiáveis no setor residencial do que nos serviços, e apenas algumas fontes [46] tentaram dividir o consumo total de energia elétrica entre as diferentes utilizações finais. Os maiores consumidores de eletricidade nos serviços na EU-27 são a iluminação dos edifícios com cerca de 20,78%, o aquecimento ambiente e de água representando uma parcela de 19,22%, a ventilação com 12,47% e a refrigeração comercial com cerca de 8,57% [46].

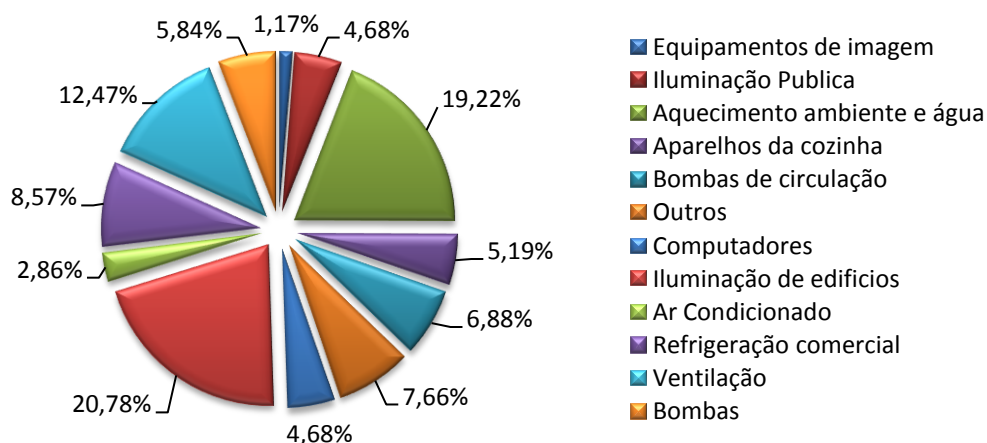


Figura 2 – Repartição do consumo de eletricidade pelas várias utilizações finais nos serviços
Fonte: [46]

2.3. Determinantes do comportamento dos ocupantes

Os processos mais complexos que ocorrem no interior dos edifícios são aqueles de derivam de comportamento humano [13]. Somos animais intrinsecamente imprevisíveis [13]. Além disso, as interações entre os ocupantes e os sistemas de controlo têm importantes implicações no balanço energético de um edifício, afetando tanto o microclima interior como no consumo energético [13].

A identificação dos principais determinantes do consumo energético do setor dos edifícios, associado a uma compreensão completa dos impactes desses determinantes sobre os padrões de consumo de energia pode ajudar a atingir o objetivo de melhorar o desempenho energético do edifício e a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa neste setor [29].

De uma forma geral, os fatores que influenciam o consumo total de energia nos edifícios podem ser desagregados em sete grupos [29]:

1. **Clima** (temperatura do ar exterior, radiação solar, velocidade do vento, etc.);
2. **Características relacionadas com o edifício** (tipo de edifício, área, orientação, dimensão, etc.);
3. **Características relacionadas com o ocupante** (presença do ocupante, etc.);
4. **Funcionamento e manutenção dos sistemas do edifício** (arrefecimento / aquecimento de espaços, abastecimento de águas quentes, etc.);
5. **Efeito dos comportamentos e atividades dos ocupantes dos edifícios;**
6. **Fatores económicos e sociais** (grau de educação, custo da energia, etc.);
7. **Requisitos da qualidade do ambiente interior.**

Entre os sete fatores mencionados anteriormente, os fatores sociais e económicos são aqueles que irão influenciar os comportamentos dos ocupantes do edifício no que respeita ao consumo de energia, pois são aqueles que incidem diretamente sobre as suas atitudes e atividades diárias, influenciando assim o consumo de energia do edifício [29]. Outro fator que se relaciona com o comportamento do ocupante é a qualidade do ambiente interior, visto que esta variável é controlada em parte pelo utilizador, desse modo afetando o consumo de energia [29]. Em resumo, estas duas categorias de fatores representativas da influência dos ocupantes afetam o consumo de energia indiretamente [29]. No entanto, a influência dos ocupantes no consumo energético do edifício, já é considerada dentro dos efeitos dos comportamentos dos ocupantes, sendo assim excluída a influência deste fator nos efeitos dos restantes fatores em causa [29].

O comportamento humano é o resultado de uma contínua combinação de vários fatores que cruzam diferentes disciplinas [16]. A influência dos ocupantes dos edifícios no consumo de energia pode ser causada por uma combinação de ambos os fatores “externos” e “internos” [16].

Os fatores “externos” dizem respeito a variáveis extrínsecas aos ocupantes e mais relacionados com as características dos edifícios e clima, como por exemplo, temperatura interior e exterior [16]. Os fatores “internos” estão mais relacionados com a área das ciências sociais, em particular, no campo da antropologia e comportamento humano [16]. Os fatores que influenciam o comportamento dos ocupantes, tanto “externos” como “internos” são definidos neste trabalho como “determinantes”, sendo estes as razões que conduzem a uma reação de um ocupante do edifício e que motivam eles a atuar.

Estes determinantes incluem fatores físico-ambientais, psicológicos, fisiológicos, sociais e contextuais [10]. O operador central deste fluxograma é o próprio ocupante [10]. Com base em vários estudos, foram explorados quais os determinantes mais influentes que incutem o comportamento das pessoas e que afeta consecutivamente o consumo energético dos edifícios [10]. Na Figura 3 é possível identificar alguns determinantes do comportamento dos ocupantes divididos por categorias [10].

Físico-ambientais	Temperatura, humidade, velocidade do ar, ruído, iluminação natural e odor, etc.
Contextual	Fatores que têm uma influência indireta sobre o ser humano; O isolamento do edifício, orientação da fachada, tipo de sistema AVAC, tipo de termostato (manual ou programável), etc.
Psicológicos	Os ocupantes tendem a satisfazer as suas necessidades relativamente ao conforto térmico, acústico, visual, à saúde, segurança, etc. Expectativa, consciência (por exemplo preocupação ambiental), os recursos cognitivos (conhecimento), hábitos, estilo de vida e percepção.
Fisiológicos	Idade dos ocupantes, género, estado de saúde, vestuário, nível de atividade e ingestão de alimentos e bebidas, etc.
Social	Determinantes sociais referem-se à interação entre os ocupantes.

Figura 3 – Divisão por categorias dos determinantes do comportamento dos ocupantes

Fonte: [10]

Na realidade, no que se refere à qualidade do ambiente interior, os ocupantes reagem consciente ou inconscientemente a estímulos internos ou externos (determinantes) de forma a melhorar, manter ou restaurar as condições de conforto [49]. Essas reações podem ser, por exemplo, a abertura ou fecho de janelas, alterações dos set-points, mudança de roupa [10]. Em geral, estas ações comportamentais não podem ser consideradas singulares porque os ocupantes interagem continuamente entre si e não é possível estabelecer fronteiras em cada caso [16]. Fabi et al. [27] realizaram um estudo sobre quais os determinantes que se relacionavam com três ações típicas executadas pelos ocupantes dos edifícios. Ela averiguou quais os determinantes significativos que mais afetavam o comportamento dos ocupantes relativamente à abertura de janelas, ao ajuste dos set-points de aquecimento e à adaptação

dos sistemas de sombreamento [27]. De acordo com as cinco categorias estabelecidas anteriormente, ela cruzou os vários determinantes de acordo com as ações e determinou quais os determinantes que afetavam conjuntamente estas três ações comportamentais (Figura 4) [27].

Assim, relativamente a estas três ações, verificou-se que a temperatura exterior e interior, a radiação solar, a idade dos ocupantes e as suas preferências são os determinantes mais relevantes que levam os ocupantes a alterar o seu estado de conforto [27].

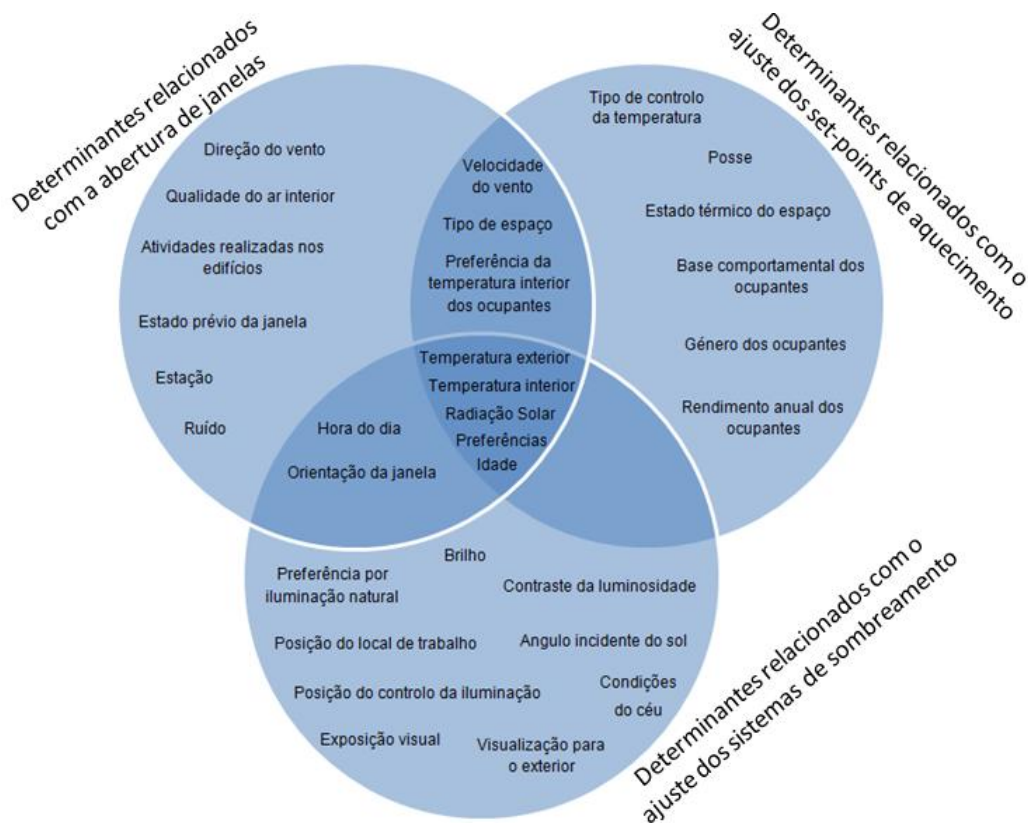


Figura 4 – Determinantes predominantes do comportamento dos ocupantes para a abertura de janelas, ajuste do set-point de aquecimento e controlo dos sistemas de sombreamento

Fonte: [27]

2.4. Simulação dos comportamentos dos ocupantes: Um processo complexo

Ainda é incerto sobre a motivação que leva os ocupantes dos edifícios a relacionar-se com os controlos dos sistemas dos edifícios [10]. Este procedimento é influenciado por um grande número de causas, podendo ser “externas” ao ocupante em si, tais como, a

temperatura exterior ou a velocidade do vento ou podendo ser individuais, como os antecedentes pessoais, atitudes e preferências culturais ou até mesmo podendo ser relacionado com as propriedades dos edifícios como os equipamentos de aquecimento disponíveis [50]. De destacar que as interações dos ocupantes com os sistemas de controlo dos edifícios são apenas um aspeto do comportamento humano [10].

O comportamento das pessoas pode ser expresso através do resultado de uma combinação de vários fatores cruzando diferentes disciplinas, desde matéria social até às ciências naturais [10]. Verificou-se que, sobretudo, as condições térmicas interiores e exteriores são as variáveis que mais influenciam os comportamentos dos ocupantes relacionados com os sistemas de controlo do edifício [10]. Segundo estudos recentes, a temperatura do ar exterior é aquela que mais influencia a variação das interações dos utilizadores com os elementos do edifício, tais como, as janelas ou sistemas AVAC [10]. Schweiker [50] denominou este tipo de parâmetros de “fatores externos”, e tem-se observado o aumento de estudos destes fatores nos últimos anos [32],[51]. No campo das ciências sociais, o comportamento humano é definido e relacionado com as causas a que se poderia chamar de “fatores individuais”, tais como, atitudes, preferências e de contexto cultural [50]. Para além dos fatores externos, estes influenciam o comportamento dos ocupantes através de uma gama de ações de uma forma bastante complexa [50].

A mudança de comportamento acarreta um potencial de poupança de energia considerável, e na maioria dos casos, maior do que a das soluções tecnológicas [52]. Uma das características mais relevantes sobre a alteração de comportamento é que em grande parte não acarreta nenhum custo, não necessita de um conhecimento elevado sobre tecnologias, pode ser facilmente aplicável a edifícios novos e existentes, é amplamente apreciada por muitos (embora não seja praticado) [52]. Para além disso, tem um potencial de propagação, pois uma vez que os ocupantes de um edifício desenvolvem um hábito cultural de conservação de energia, pode ser facilmente difuso pelos recém-ocupantes dos edifícios [52].

No entanto, é difícil identificar completamente as influências do comportamento dos ocupantes e atividades por meio de simulação, devido à diversidade e complexidade de comportamento dos ocupantes. As ferramentas de simulação actuais só podem imitar os padrões de comportamento de uma forma rígida [29]. Estas ferramentas não podem replicar com precisão o desempenho real dos edifícios, pois as simulações são baseadas em uma série de pressupostos básicos que afetam os resultados. Por conseguinte, o cálculo do desempenho energético pode diferir significativamente do consumo de energia real. Uma das principais razões é a incapacidade atual para modelar adequadamente o comportamento dos ocupantes e quantificar as incertezas associadas às previsões do desempenho dos edifícios. Por consequência, uma melhor descrição dos parâmetros relacionados ao comportamento dos ocupantes é altamente necessária [16].

O comportamento dos ocupantes é uma fonte de incerteza significativa no que respeita à simulação energética [53]. A variação de um único parâmetro pode afetar significativamente os resultados da simulação (até 40% durante a execução da simulação utilizando valores médios) e, a variação geralmente resulta num aumento em vez de uma diminuição do consumo de energia previsto [53]. A relação e dependência existente entre os parâmetros simulados podem ainda contribuir para uma variabilidade de resultados na simulação energética [53].

Segundo Clevenger [53], a relevância da simulação energética reside na sua capacidade de avaliar várias alternativas viáveis, em vez de prever com fiabilidade o desempenho energético. No entanto, de modo a contribuir plenamente para o processo de *design* e avaliação de edifícios, essas ferramentas devem tornar-se mais confiáveis e precisas no prognóstico do desempenho real dos edifícios [53]. Portanto, uma das conclusões mais produtivas é propor que os modelos existentes relativos aos ocupantes requerem melhorias [53]. Segundo a bibliografia, uma das soluções para reduzir o impacto dos ocupantes no consumo energético e também diminuir a potencial variabilidade introduzida pela conduta dos ocupantes seria tornar os edifícios mais automatizados [53]. As incertezas em relação ao comportamento dos ocupantes dos edifícios limitam a capacidade das ferramentas de simulação energética em prever com precisão o desempenho real dos edifícios [53].

Uma das várias bases teóricas de análise é a “abordagem adaptativa”, que afirma que “se ocorrer uma mudança capaz de produzir desconforto, as pessoas reagem de maneira a que tenda a restaurar o seu conforto” [54]. A abordagem adaptativa baseia-se na noção de que o nível de adaptação e expectativa dos ocupantes está fortemente correlacionada com as condições climáticas exteriores [43]. Assim, de acordo com o modelo da abordagem adaptativa, acredita-se que a consciência ou inconsciência dos ocupantes desenrola um papel ativo no controlo das condições do ar interior [10]. Em geral, alguns estudos demonstraram que os ocupantes estão mais confortáveis e sofrem menos *SED*¹ sintomas quando têm um grau mais elevado de controlo e uma liberdade de escolha de forma a adaptar as condições de forma clara e intuitiva [44],[55].

É importante realçar que se for tido em conta a teoria da abordagem adaptativa na fase de conceção do edifício, isto implicaria por consequência fornecer aos ocupantes dos edifícios a oportunidade de uma melhor interação com os controlos [10]. No entanto, um maior nível de satisfação e baixo nível de sintomas por *SED* também se aplica para os edifícios projetados utilizando uma abordagem convencional [55]. Deste modo, proporcionar boas oportunidades de controlo aos ocupantes parece benéfica independentemente da abordagem da conceção do edifício [10]. Assim, isso implicaria uma maior influência dos ocupantes no ambiente interior e consumo energético [10]. Como consequência, o comportamento dos ocupantes torna-se cada

¹ *SED* – Síndrome do Edifício Doente: corresponde a situações de desconforto laboral e/ou de problemas agudos de saúde referidos pelos trabalhadores, que parecem estar relacionados com a permanência no interior de alguns edifícios.

vez mais importante e a consideração do comportamento dos ocupantes na fase de projeto dos edifícios transforma-se uma necessidade [10].

2.5. Meios de impacto do comportamento dos ocupantes no consumo energético dos edifícios

O comportamento humano influencia extremamente o consumo de energia dos edifícios (Figura 5) através da forma como as pessoas se movem, utilização de equipamentos, janelas abertas ou fechadas, o sistema usado no edifício (por exemplo, sistema de ar condicionado, iluminação) e o seu tipo de controlo dos sistemas [56]. Essas ações afetam direta e indiretamente o consumo de energia, tal como, eletricidade, gás e água [56].

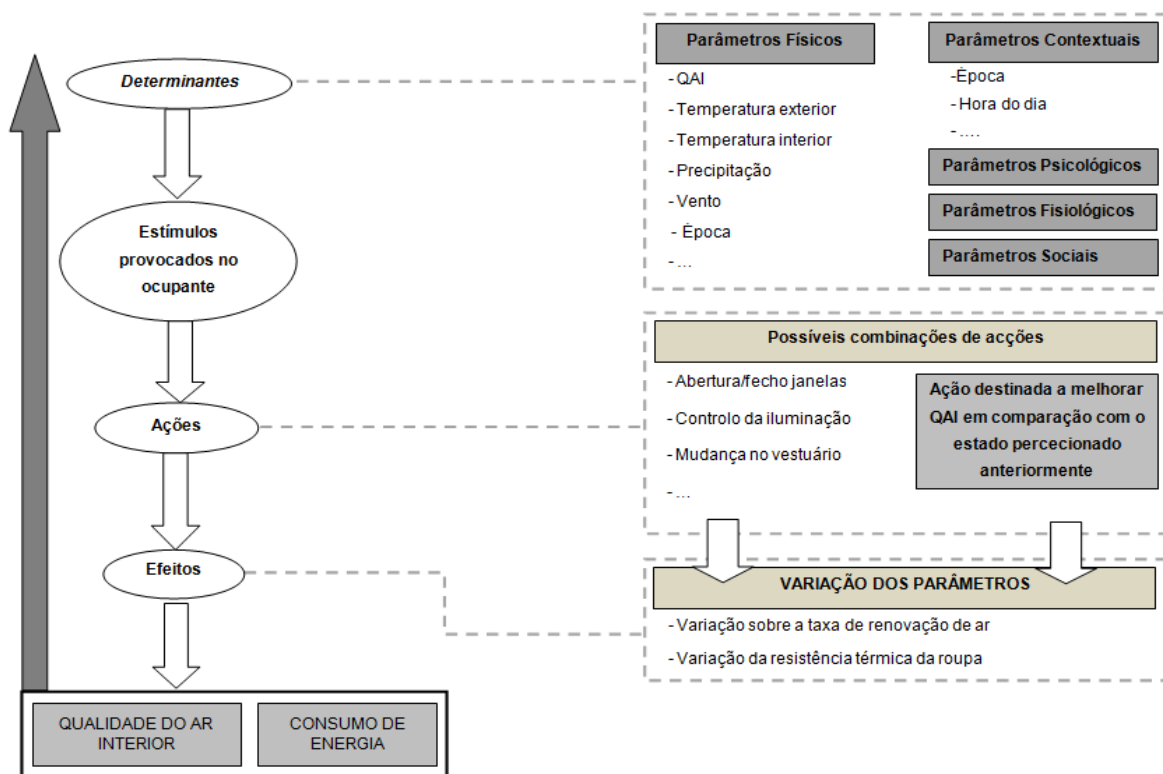


Figura 5 – Influência das ações comportamentais, através dos determinantes, no consumo de energia dos edifícios
Fonte: [16]

As ferramentas de simulação dinâmica existentes para simular consumo energético dos edifícios focam-se mais na influência dos efeitos do clima, nas características das soluções construtivas, nos sistemas e equipamentos do que com as ações dos ocupantes [56]. Atualmente, o comportamento humano é descrito na simulação dinâmica através da definição de horários, o que não reflete a complexidade real do comportamento das pessoas [56]. A

diferença entre os dados reais e os resultados de simulações é devido ao comportamento humano em atuais situações complexas [56].

A influência dos ocupantes no consumo energético e qualidade do ar interior dos edifícios pode ser dividida em vários meios de interações [13]. Antes de tudo, a presença de ocupantes no interior de um edifício é claramente uma condição necessária de forma a ser capaz de interagir com o edifício em si [28]. Assim, a presença dos ocupantes será um contributo fundamental a ter em consideração em todos os modelos que simulem o comportamento dos ocupantes. Como cada ser humano emite calor, a sua presença por si só já modifica o ambiente interior [28]. Juntamente a isso deve ser adicionado as interações, dos ocupantes, relacionadas com as tarefas que desempenham [28]. Por exemplo, os ocupantes de um edifício de escritórios utilizam diversos aparelhos elétricos bem como dispositivos de iluminação tendendo a ganhos internos de calor e consumo de energia elétrica [28].

Em paralelo com o consumo energético existe ainda a produção de resíduos, tanto sólidos como líquidos [28]. Todos estes efeitos resultantes do comportamento dos ocupantes desempenham um papel muito importante na determinação das necessidades de refrigeração, aquecimento e ventilação de um edifício, bem como de energia elétrica [28]. Por outro lado, os ocupantes também interagem com os edifícios de modo a melhorar o seu conforto pessoal, tais como, a utilização de janelas de forma a melhorar o conforto e olfativo ou o ajuste da iluminação e dispositivos de sombreamento para otimizar o conforto visual [28]. Estas interações afetam os sistemas de climatização do edifício e o consumo de energia [28]. Torna-se assim essencial perceber quais as interações que uma pessoa pode ter com um edifício e qual o impacto da presença e comportamento dos ocupantes nas necessidades térmicas dos edifícios de forma a garantir o conforto pessoal e reduzir o consumo energético. Na Figura 6 é possível observar quais as ações capazes de serem provocadas pelos ocupantes com consequência no consumo energético dos edifícios [28]. Simulando o comportamento dos ocupantes através das interações permitirá ajudar a avaliar a eficiência energética e a redução do consumo de energia que é possível atingir assegurando simultaneamente ou até mesmo melhorando o conforto dos ocupantes [28].

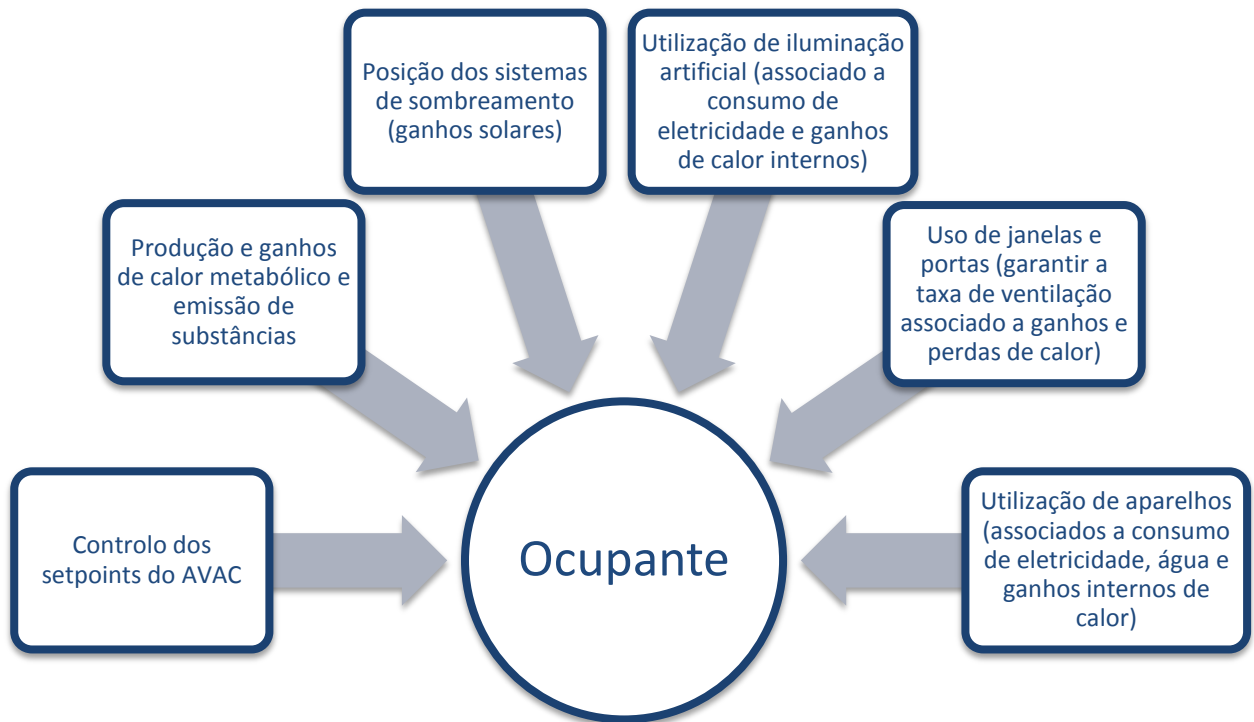


Figura 6 – Diferentes meios de impacto da presença e comportamentos com as necessidades térmicas dos edifícios de forma a assegurar o conforto dos ocupantes e das suas atividades

Fonte: [28]

3. Metodologia de Estudo

3.1. Sumário

Este capítulo tem como objetivo a descrição da metodologia geral que será adotada na simulação dos edifícios de serviços, seguido da caracterização do modelo do edifício sobre o qual será realizado as simulações. Posteriormente será apresentado e descrito todos os parâmetros simulados no software *DesignBuilder*. Neste estudo foram simulados dois tipos de edifícios de serviços, um de grandes dimensões e outro de pequenas dimensões. Recorreu-se ao RSECE para se obter os padrões de referência de utilização dos edifícios.

3.2. Objetivos e metodologia geral adotada

A metodologia proposta neste trabalho é baseada em simulação dinâmica de edifícios através da utilização do *DesignBuilder*. Estas simulações têm como objetivo principal entender qual o impacto das ações dos ocupantes no consumo energético dos edifícios de serviços.

De modo a caracterizar os ocupantes dos edifícios de serviços foram considerados três perfis representativos do comportamento dos ocupantes de acordo com o nível de energia que utilizam de forma a proporcionar níveis de conforto aceitáveis para os ocupantes. O primeiro perfil de ocupante é um ocupante de referência ou padrão representativo da maioria dos ocupantes em termos de comportamento e consumo energético. No segundo perfil é considerado um ocupante eficiente onde o seu comportamento é proactivo em termos de poupança energética. Por último considerou-se um ocupante ineficiente onde existe falta de motivação para reduzir o consumo energético.

De modo a avaliar a influência do clima, foram realizadas simulações para três cidades diferentes, que representam climas distintos. Visto que estão a ser considerados edifícios de serviços, optou-se por representar três cidades portuguesas onde se situam a maior percentagem de edifícios de serviços e por serem cidades de grandes dimensões. As três cidades escolhidas foram: Porto, Lisboa e Faro.

De forma a abranger as diferentes tipologias de edifícios de serviços foram considerados para simulação dois tipos de edifícios, um grande edifícios de serviços (GES) e um pequeno edifício de serviços (PES). Com base nos valores do RSECE optou-se por estudar escritórios como edifícios representativos de PES e GES.

De modo a simular o impacto do comportamento dos ocupantes no consumo energético dos edifícios de serviços no *DesignBuilder* foi necessário introduzir uma série de dados que serão definidos neste capítulo. Num edifício de serviços existem várias restrições na forma dos ocupantes interagirem com os sistemas. Deste modo, optou-se apenas por estudar o impacto das ações dos ocupantes no consumo de energia através da utilização dos sistemas AVAC, iluminação e equipamentos sendo estas três cargas térmicas representativas do setor de serviços e por serem manuseadas essencialmente pelos ocupantes dos edifícios de serviços como se observa na Figura 7.

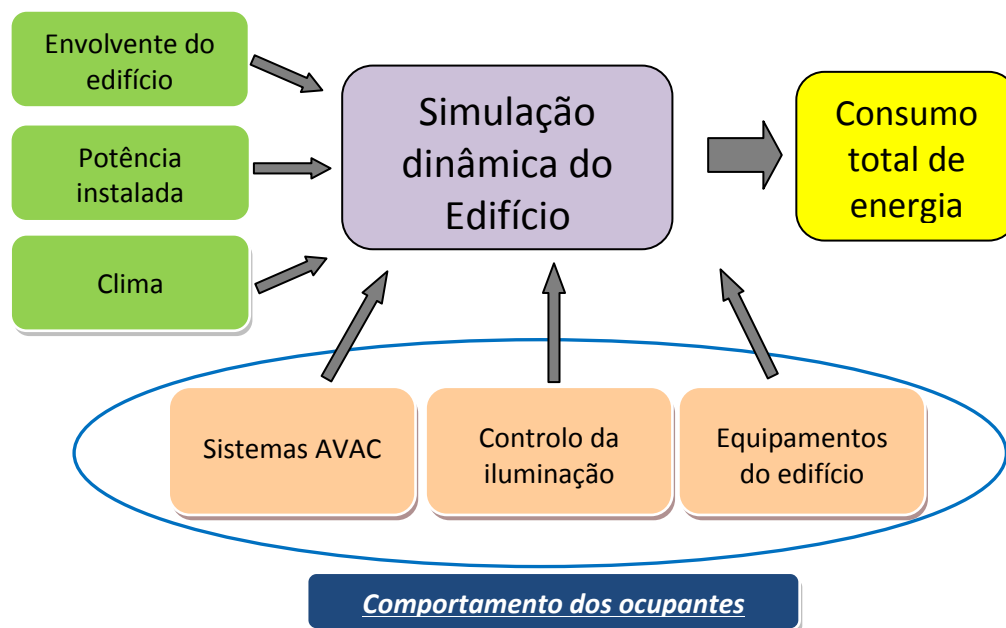


Figura 7 – Metodologia utilizada na simulação dos comportamentos dos ocupantes

3.3. Caracterização do edifício

Numa simulação térmica de edifício é fundamental que previamente se faça uma descrição da constituição do edifício, do meio envolvente e sua localização. Tal como descrito anteriormente, neste estudo serão analisados e comparados consumos energéticos de dois tipos de edifícios, pequenos edifícios de serviços (PES) e grandes edifícios de serviços (GES). Os edifícios em si são definidos pela sua simplicidade apresentando uma geometria quadrangular de modo a evitar que a orientação do edifício tenha impacto no consumo energético. Considerou-se que o modelo do edifício representado na Figura 8 é representativo de um piso intermédio. A razão pela falta de complexidade no *design* compreende-se pela

necessidade de tornar as simulações mais simples e concisas concentrando a análise nos dados de entrada, mais importantes, que avaliam o comportamento dos ocupantes do que no edifício em si. Nos seguintes subcapítulos será analisada em maior detalhe os vários dados introduzidos no *DesignBuilder* de forma a caracterizar todo o edifício.

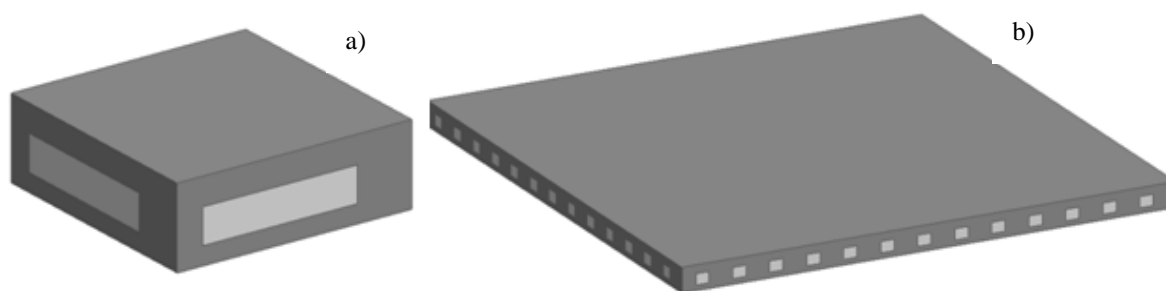


Figura 8 – Representação dos edifícios modelos representativos de pequenos edifícios de serviços a) e grandes edifícios de serviços b)

3.3.1. Atividade

No separador atividade do *software DesignBuilder* são introduzidos dados que irão definir um determinado modelo (*template*) relativamente à utilização do edifício. Os dados inseridos abrangem ocupação, utilização de equipamentos, temperaturas interiores apropriadas, níveis de iluminação e taxas de ventilação. Basicamente define o nível de atividade praticada no edifício. Na Tabela 2 são apresentados os dados inseridos no *DesignBuilder* e posteriormente a sua explicação.

Tabela 2 – Características utilizadas na definição do separador atividade exercida no edifício

		Pequeno Edifício de Serviços	Grande Edifício de Serviços
Template		Escritórios	
Área total (m²)		98,3	5001,0
Ocupação	Densidade (ocupante/m ²) ²	0,067	
	Horário ¹	<i>Escritórios Ocupação RSECE</i>	
Metabolismo	Atividade	<i>Light Office Work</i>	
Férias (horário)		1 Agosto a 31 de Agosto	
Controlo do ambiente interior	Set-point Temperatura Aquecimento (°C) ¹	20	
	Set-point Temperatura Arrefecimento (°C) ¹	25	
	Caudal de ar novo mínimo (l/(s.m ²)) ¹	5,813	
	Iluminação	Iluminância alvo (lux)	500
Equipamento de escritório	Ganhos (W/m ²) ¹	15	
	Horário ¹	<i>Escritórios Equipamento RSECE</i>	

De acordo com o separador ocupação, é definido a densidade, ou seja, o número de ocupantes por área total. Os dados inseridos foram retirados do RSECE de acordo com a tipologia do edifício, tal como observado na seguinte tabela.

Tabela 3 – Densidade de ocupação e equipamento representativo dos edifícios de escritório de acordo RSECE [7]

Tipologia de edifício	Densidades	
	Ocupação (m ² /ocupante)	Equipamento (W/m ²)
Escritórios	15	15

Verifica-se que as unidades em que a ocupação é representada no RSECE (m²/ocupante) não corresponde às unidades utilizadas no *DesignBuilder* (ocupante/m²) e para

² Dados retirados do RSECE

isso será necessário fazer o inverso dos valores do RSECE, verificando-se uma densidade de ocupação de 0,067 ocupantes/m². Principalmente em edifícios de serviços, tal como os escritórios, a ocupação não é um valor constante ao longo do dia, variando de acordo com o número de pessoas presentes no interior do edifício. De forma a determinar a ocupação em cada momento do dia recorreu-se aos padrões de referência de utilização dos edifícios estabelecidos no RSECE como se observa na Figura 9. Para cada tipo de edifício é estabelecido uma percentagem de ocupação durante o dia que será multiplicada pela densidade definida, podendo em certos momentos a ocupação ser zero, como por exemplo, em fins de semana, feriados ou férias.

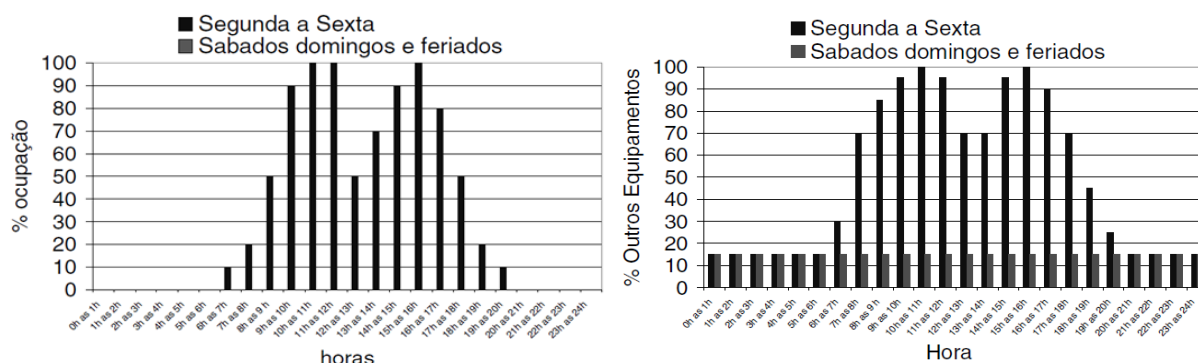


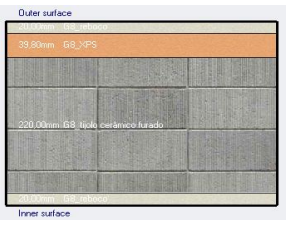

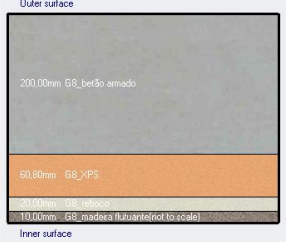
Figura 9 – Padrões de referência de utilização de edifícios típicos de escritórios para a ocupação e outros equipamentos de acordo com o [7]

Alguns parâmetros da secção atividade, tais como, o metabolismo e os *set-points* de aquecimento e arrefecimento são definidos através do template escolhido. O *software DesignBuilder* tem oferta de *templates* já definidos, de acordo com o tipo de edifício, definindo todos os valores de entrada de acordo com o módulo IEE. O módulo IEE é o módulo principal da versão portuguesa do *DesignBuilder*. Permite utilizar a caracterização do edifício, inerente à construção do modelo, e os resultados da simulação dinâmica detalhada, para calcular diversos parâmetros relevantes no âmbito do Decreto-Lei nº.79/2006. Assim, não é essencial definir todos os valores, sendo que neste caso apenas se alterou a ocupação, caudal de ar novo mínimo e os ganhos de calor provenientes dos equipamentos de escritório. Em termos de horário de ocupação, iluminação e equipamentos, estes foram definidos de acordo com o RSECE (Figura 8). No caso do horário das férias, estabeleceu-se que o PES e o GES encontram-se encerrados durante o mês de Agosto.

3.3.2. Soluções construtivas

Após a caracterização da atividade exercida no interior do edifício, torna-se essencial definir as soluções construtivas do edifício. Optou-se pelas mesmas soluções construtivas para o PES e o GES pois não é um parâmetro relevante a ser estudado neste trabalho. Na Tabela 4 estão evidenciados os materiais utilizados na definição das soluções construtivas para o clima Porto que de acordo com o RCCTE enquadra-se na zona climática I₂. De forma a garantir que as exigências do RCCTE fossem cumpridas escolheu-se soluções construtivas em que o coeficiente de transmissão térmica para cada um dos climas estudados neste trabalho respeitasse os valores indicados no quadro IX.3 do RCCTE para coeficientes de transmissão térmica de referência (Figura 38). O tipo de materiais utilizados para todos os climas e para os dois tipos de edifícios é igual variando apenas a espessura do isolamento em cada solução construtiva para garantir as exigências do RCCTE. Assumiu-se que a cobertura e o piso dos edifícios padrão eram adiabáticos, ou seja, não haveria troca de calor entre o meio interior e o meio exterior, sendo o coeficiente de transmissão térmica igual a zero.

Tabela 4 – Soluções construtivas utilizadas na caracterização dos edifícios de serviços situados no Porto de forma a cumprir os requisitos do coeficiente de transmissão térmica estabelecido no [7]

Superfície	Materiais	Espessura (m)	U (W/m ² °C)	Estrutura
Paredes Externas	Reboco	0,02	0,6	
	XPS	0,0398		
	Tijolo Furado	0,22		
	Reboco	0,02		
Cobertura (telhado plano)	Tela impermeabilizadora	0,01	0,00	
	XPS	0,04		
	Betão Armado	0,40		
	Caixa-de-ar	0,30		
	Reboco	0,02		
Piso	Betão Armado	0,20	0,00	
	XPS	0,0608		
	Reboco	0,02		
	Madeira Flutuante	0,01		

3.3.3. Aberturas

No separador relativo às aberturas são definidas essencialmente as janelas, portas, dispositivos de sombreamento. Normalmente as janelas são definidas automaticamente, assumindo um percentagem de parede específica para esse propósito. Para estes edifícios foram definidos 15% de vão envidraçados pois de acordo com o RCCTE “a área dos vão envidraçados não pode exceder 15% da área útil de pavimento”. Em termos de vidros externos, o edifício modelo apresenta vidros duplos com 6mm de espessura e 6mm de caixa-de-ar e caixilharia de alumínio com corte térmico. Não foram inseridos dados acerca dos dispositivos de sombreamento por não ser relevante para este estudo.

3.3.4. Iluminação

Relativamente à iluminação artificial, existe um separador específico onde é possível definir o tipo de sistemas de iluminação que o edifício possui através de *templates*. Neste caso foi selecionado o template Portugal. Sendo que o RCCTE não estabelece o valor para a taxa de iluminação optou-se pelo valor definido no template de 11,90 W/m². O horário escolhido para a utilização da iluminação é o horário estabelecido pelo RSECE para a tipologia escritórios (Figura 10). No caso do tipo de luminária, optou-se pelo tipo suspenso. Não existe controlo automático da iluminação, sendo que a utilização da iluminação é estabelecido pelo horário acima descrito. Os restantes dados são inseridos automaticamente pelo *template* escolhido, tais como a fração radiante e a fração visível que define a fração de calor transmitido para o espaço através da iluminação.

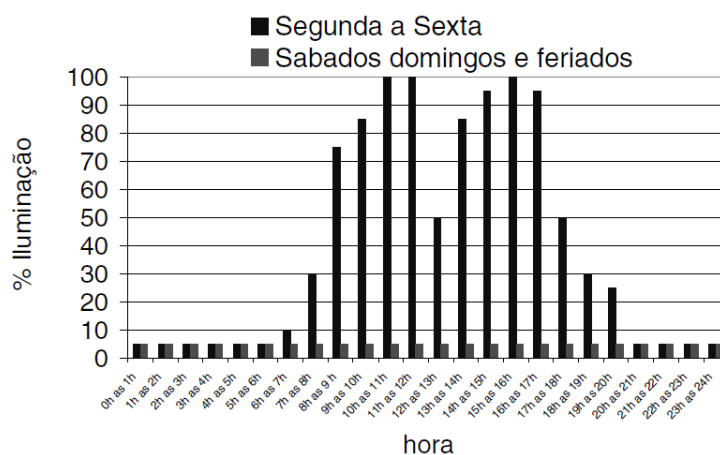


Figura 10 - Padrão de referência de utilização de edifícios típicos de escritórios para a iluminação de acordo com o [7]

3.3.5. AVAC

O sistema AVAC escolhido não difere entre os dois tipos de edifícios pois não se pretende que essa alteração cause efeito no consumo energético do edifício. Nos dois edifícios foi selecionado uma unidade compacta de expansão direta (*Packaged direct expansion*) por ser um sistema AVAC ideal para edifícios e apresentar um custo reduzido de instalação.

A ventilação mecânica controla a quantidade de ar fresco que é inserido no edifício ou as renovações de ar por hora (ac/h ou RPH), ou seja, a quantidade de vezes que o volume de ar no interior do edifício é renovado. Este valor encontra-se legislado no *Anexo VI* do RSECE (Figura 39) de acordo com os ocupantes ou de acordo com a área do edifício. Na Tabela 5 encontram-se os valores dos caudais mínimos de ar novo para os edifícios.

Tabela 5 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no [7] para edifícios de serviços (Gabinetes)

Tipologia de edifício	Caudais mínimos de ar novo	
Escritórios (Gabinetes)	35 [m ³ /(h.ocupante)]	5 [m ³ /(h.m ²)]

Relativamente ao horário de funcionamento dos sistemas AVAC, estes não se encontram padronizados no RSECE. Assim, foi definido um horário de funcionamento do AVAC para os edifícios. Os sistemas AVAC ligam automaticamente uma hora antes do horário de ocupação, ou seja, inicia-se às 05:00 horas e é função do ocupante do edifício desligar no final do dia, ou seja, às 20:00 horas (Figura 11). Em termos de taxa de utilização dos sistemas AVAC, eles funcionam de forma diferente da iluminação e dos equipamentos, ou seja, o sistema AVAC encontram-se em modo de funcionamento ou encontra-se desligado durante todos os dias úteis. No caso dos fins de semana, feriados e férias o AVAC encontra-se desligado. Em termos de sistemas de aquecimento e arrefecimento optou-se por um sistema de uma forma padronizada, utilizando eletricidade como fonte de energia e CoP igual a um de modo a facilitar os cálculos e visto o objetivo deste trabalho ser avaliar o comportamento dos ocupantes e não a eficiência dos sistemas AVAC.

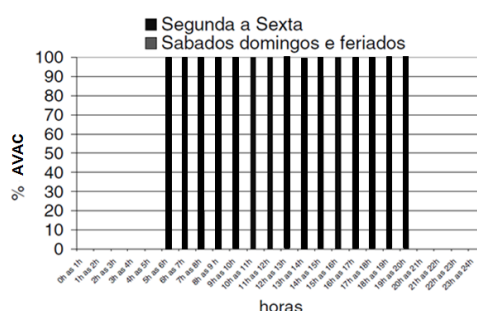


Figura 11 – Horário de funcionamento dos sistemas AVAC nos edifícios de serviços

3.4. Estudo paramétrico

De forma a avaliar o potencial de poupança energética e o impacto das ações dos ocupantes no consumo energético foram considerados, tal como explicado anteriormente, três perfis representativos dos ocupantes de acordo com o nível de energia que utilizam de forma a proporcionar níveis de conforto para os ocupantes em três cidades diferentes de Portugal.

O primeiro perfil de ocupante (*ocupante referência*) é um ocupante de referência ou padrão representativo da maioria dos ocupantes em termos de comportamento e consumo energético. Ele atua de acordo com os padrões de referência de utilização dos edifícios estabelecidos no RSECE. O segundo perfil de ocupante (*ocupante eficiente*) é um utilizador eficiente e preocupado e proactivo na poupança energética, sendo que ele toma decisões e realiza ações em pró da redução de energia. O terceiro perfil de ocupante (*ocupante ineficiente*) é um ocupante sem qualquer preocupação com o consumo energético do edifício e com falta de motivação para reduzir o gasto energético do edifício.

Foram analisados os impactos das ações dos ocupantes no consumo energético dos edifícios através de três cargas térmicas relevantes: a utilização dos sistemas AVAC, iluminação e equipamentos em dois edifícios de escritórios com dimensões diferentes. Visto este estudo incidir sobre o setor dos serviços, a liberdade dos ocupantes de forma a interagir com os sistemas é limitada ao contrário do que se verificar no setor residencial. Deste modo, optou-se apenas por estudar estas três cargas térmicas representativas do setor de serviços por serem manuseadas essencialmente pelos ocupantes dos edifícios de serviços.

Este estudo será realizado em edifícios padrões para cada tipo de edifício de serviços e para cada um dos perfis descritos anteriormente foram alterados vários parâmetros relacionados com as ações dos ocupantes.

3.4.1. Clima

O desempenho térmico de um edifício está diretamente relacionado com as condicionantes externas relativas ao clima, tais como, a temperatura do ar, a humidade, a radiação, a direção do vento, entre outras. De acordo com o RCCTE, Portugal encontra-se dividido em três zonas climáticas de Inverno e três zonas climáticas de Verão. Os dados disponibilizados no RCCTE apresentam variáveis importantes que alteram entre concelhos, tais como, o número de graus dia, a duração da estação de aquecimento (inverno), a temperatura externa ao projeto, entre outros.

Visto que este trabalho reflete sobre o setor de serviços escolheu-se três climas diferentes distribuídos por Portugal de forma a caracterizar o território português. Considerou-se a cidade do Porto, caracterizando o clima temperado mediterrânico com influência atlântica, Lisboa representando um clima temperado mediterrânico e Faro também representativo de um clima temperado mediterrânico. Estes locais manifestam a característica comum de serem grandes cidades, capitais de distritos e também por serem representativos de cidades com grande número de edifícios de serviços. De acordo com a Figura 12, em termos climáticos verifica-se que o Porto pertence à zona climática de Inverno 2 (I_2) e de Verão 1 (V_1) e que Lisboa e Faro pertencem a I_1 e V_2 .

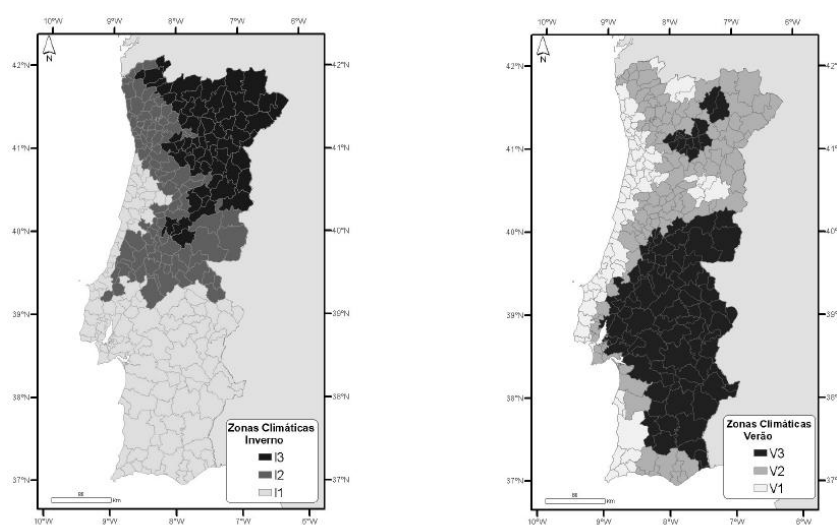


Figura 12 – Representação das zonas climáticas de Inverno e de Verão segundo o RCCTE

Torna-se essencial compreender os fatores climáticos locais na magnitude do seu impacto nos ocupantes e perceber quais as ações que os ocupantes realizam de forma a contrariar ou aproveitar as condições climáticas influenciando o consumo energético do edifício.

3.4.2. Sistemas AVAC

O funcionamento dos sistemas AVAC no setor de serviços, alterna sempre em funcionamento e desligado. Nos edifícios de serviços a interação entre os ocupantes e os sistemas AVAC prende-se essencialmente com o desligar do sistema no final do horário útil de trabalho. Ações como o controlo dos *set-points*, normalmente não estão geralmente ao alcance dos ocupantes nos edifícios de serviços.

Em termos de funcionamento do sistema AVAC, ele liga automaticamente uma hora antes de os utilizadores chegarem aos edifícios e durante o dia atua de acordo com a Figura 10 representativo do edifício de serviços nomeadamente escritórios. Após a definição dos sistemas e horário de funcionamento dos sistemas AVAC, é fundamental definir quais os parâmetros que são modificáveis de acordo com cada perfil de ocupante.

No caso dos *ocupantes referência*, estes têm a função de no final do dia útil de trabalho desligar o sistema AVAC. Durante o fim de semana, feriados e período de férias o sistema AVAC encontra-se desligado. O *ocupante eficiente* tem como função desligar o sistema AVAC uma hora antes de sair. No caso dos *ocupantes ineficientes*, foram estudadas três situações, na qual ele se esquece de desligar o sistema AVAC em cerca de 5%, 10% e 20% dos dias durante o ano. Para tal, foram escolhidos 5, 10 e 20% de dias durante o ano na qual os ocupantes não desligam o sistema AVAC (Tabela 11, 13 e 15 do Apêndice B). Verificou-se que devido à limitação do *software DesignBuilder* em termos de limite de número de linhas programáveis na definição dos horários de funcionamento AVAC, optou-se por considerar 5, 10 e 20% dos dias por ano em termos líquidos e não brutos. Ou seja, no caso de o ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC às sextas-feiras, eles permanecerá em funcionamento durante o fim de semana, tornando estes dois dias (sábados e domingos) pertencentes à percentagem de dias que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC. Na Tabela 10 do Apêndice B observa-se um resumo das ações dos ocupantes de acordo com cada perfil.

3.4.3. Iluminação

No caso da iluminação, o *ocupante referência* liga ou desliga a iluminação artificial de acordo com o perfil de utilização da iluminação estabelecido no RSECE para os edifícios de escritórios. Os *ocupantes eficientes* ajustam a utilização da iluminação artificial de acordo com o nível de luminância da iluminação natural. Ou seja, caso a iluminação natural apresente níveis de luminância aceitáveis para os ocupantes verifica-se que a iluminação artificial encontra-se desligada e vice-versa. Uma das condicionantes desta ação dos ocupantes é o facto de a satisfação pela iluminação natural varia de ocupante para ocupante. Deste modo, e tendo como referência um estudo realizado em edifícios de escritórios em Portugal [57], verifica-se que em média,

“Para os ocupantes que são sensíveis às condições naturais, parece que a iluminação artificial controlada manualmente encontra-se desligada durante uma parte significativa do tempo em que os níveis da iluminação natural estão acima de 500 lux.” [57]

No caso dos *ocupantes ineficientes* estudaram-se várias ações provocadas pelos ocupantes com impacto no consumo energético do edifício. Assim, assumiu-se que o ocupante quando chega ao edifício liga parte da iluminação, e que durante o dia deixa a iluminação ligada, mesmo durante pausas para almoço e saídas do escritório. Além disso estudou-se também a situação de no final do dia útil de trabalho, o ocupante esquece-se de desligar a iluminação durante 5, 10 e 20% dos dias durante o ano. Tal como se verificou na definição dos horários de funcionamento dos sistemas AVAC em termos de limite de número de linhas programáveis do *software DesignBuilder*, a percentagem de dias de esquecimento perante a iluminação também são considerados valores líquidos e não brutos. Na Tabela 12, 14 e 16 do Apêndice B verifica-se os dias simulados em que o ocupante ineficiente se esqueceu de desligar a iluminação.

3.4.4. Equipamentos

Outra variável que se estudou em termos de interação sistemas/ocupantes foram os equipamentos. O tipo de equipamentos que é possível alterar no *DesignBuilder*, tendo em conta o facto do edifício de serviços simulado corresponder a escritórios, são computadores e equipamento de escritório. No subcapítulo 3.3.1 foram descritos os ganhos internos e o horário de funcionamento destes equipamentos. Tal como descrito para os outros parâmetros, o perfil correspondente ao *ocupante referência* interagem com os equipamentos conforme o perfil de utilização da iluminação estabelecido no RSECE para os edifícios de escritórios.

Relativamente ao perfil ocupante eficiente, este tem a preocupação de optar por um plano de energia de poupança reduzindo o desempenho dos computadores sempre que possível em vez de utilizar o plano de energia equilibrado visto este equilibrar automaticamente o desempenho com a energia disponível, consequentemente aumentando o consumo de energia. De forma a saber qual a redução efetiva entre estes dois planos de energia para os computadores realizou-se um estudo através do *software Joulemeter®*. É um programa gratuito que monitoriza o consumo de energia do computador e exibe uma estimativa da quantidade de energia consumida durante o tempo de monitorização.

Assim foi quantificado o consumo energético total de um computador durante um dia para cada plano de energia. Verificou-se que existia uma redução de 26% do consumo total de energia num dia normal de trabalho utilizando o plano de energia poupança em vez do plano de energia equilibrado.

Assumindo, através dos valores registado no RSECE, que existe uma potência instalada de 15 W/m^2 para equipamentos em edifícios de escritório e assumindo a

percentagem de redução do consumo de energia referente aos planos de energia dos equipamentos verifica-se que o ocupante eficiente terá apenas uma potência instalada de 11 W/m².

No caso do ocupante ineficiente optou-se por simular 4 cenários. Um dos cenários corresponde ao facto de os equipamentos se encontrarem a serem utilizados 100% do tempo durante o horário útil de trabalho. Os outros cenários simulados, tal como no AVAC e iluminação, assumiu-se que os ocupantes se esqueciam de desligar os equipamentos no final do dia de trabalho cerca de 5, 10 e 20% dos dias durante o ano. No caso dos equipamentos verifica-se que no final do dia útil de trabalho a sua taxa de utilização é de cerca de 25% da capacidade instalada. Deste modo, durante os dias em que os ocupantes se esquecem de desligar os equipamentos no final do dia, ele permanecerá ligado durante a noite a cerca de 25% de taxa de utilização e o mesmo se sucede para fins de semana em que o esquecimento ocorra às sextas-feiras.

Tal como se verificou na definição dos horários de funcionamento dos sistemas AVAC e iluminação, em termos de limite de número de linhas programáveis do *software DesignBuilder*, a percentagem de dias de esquecimento perante a iluminação também são considerados valores líquidos e não brutos (Tabela 12, 14 e 16 do Apêndice B).

4. Resultados e discussão

4.1. Sumário

Este capítulo visa apresentar os resultados obtidos através da simulação dinâmica. Os edifícios descritos anteriormente, representativos de pequenos e grandes edifícios de serviços, incluindo todos os parâmetros já descritos, foram simulados no *software DesignBuilder*. O consumo total de energia foi simulado para as três localizações com base no consumo total de energia do edifício. Serão ainda apresentados os resultados relativos ao consumo de energia resultante dos perfis criados em relação aos sistemas AVAC (aquecimento e arrefecimento), iluminação e equipamentos.

4.2. Repartição do consumo de energia em pequenos edifícios de serviços

Após a definição das características padrão dos edifícios de serviços procedeu-se à simulação dinâmica dos edifícios verificando os consumos energéticos para cada tipologia de edifício (PES ou GES) no ocupante referência e posteriormente as alterações provocadas pelos ocupantes, tanto eficientes como ineficientes.

Na Figura 13 observa-se os resultados provenientes da simulação do comportamento típico de um ocupante com base no consumo total de energia anual para as três localizações. Ou seja, caso o comportamento do ocupante procedesse de acordo com os padrões de referência de utilização dos edifícios e com as características representadas anteriormente verifica-se que em termos de consumo total de energia, o edifício localizado na cidade de Lisboa apresentaria um consumo mais elevado com cerca de 11.619,66 kWh anuais do que os edifícios de serviços situados nas restantes cidades.

Relativamente ao edifício de serviços localizado na cidade de Faro, este manifesta o segundo maior consumo total de energia com 11.245,23 kWh por ano e por último o edifício de serviços localizados na cidade do Porto com 10.899,77 kWh por ano.

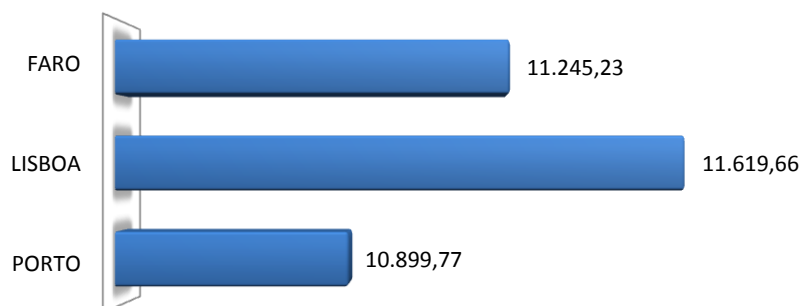


Figura 13 – Consumo de energia [kWh] por localização do consumo do perfil ocupante de referência em pequenos edifícios de serviços

Relativamente ao consumo de energia por utilização final no pequeno edifício de serviços verifica-se na Figura 13, tal como previsto de acordo com as zonas climáticas estabelecidas no RCCTE, que o edifício localizado na cidade do Porto consome mais energia em termos de aquecimento com 2.803,15 kWh/ano ao contrário do edifício situado na cidade de Faro cujo um dos maiores consumos energéticos provem do arrefecimento com 2.494,64 kWh/ano.

De destacar que o consumo energético resultante do arrefecimento no edifício localizado em Faro, e também nas restantes localizações, não é superior ao que se observa na Figura 13 porque estabeleceu-se que tanto o pequeno como o grande edifício de serviços encontra-se encerrado durante o mês de Agosto para férias. Visto Agosto ser um dos meses mais quentes do ano, prevê-se que o consumo energético resultante do arrefecimento poderia ser superior. O edifício de serviços situado em Lisboa apresenta uma distribuição do consumo energético dos sistemas AVAC quase equivalente para aquecimento e arrefecimento.

Relativo ainda aos dados apresentados na Figura 14 observa-se ainda que apenas existe variação do consumo energético entre as diferentes localizações em termos de sistemas AVAC, isto porque não foram consideradas alterações em termos de cargas térmicas resultantes dos sistemas de iluminação e equipamentos, sendo estes iguais em todos os pequenos edifícios de serviços e que operam de acordo com os padrões de referência de utilização em edifícios de escritórios de acordo com o RSECE. Deste modo o consumo energético resultante da iluminação para os edifícios nas três cidades foi de 2.866,04 kWh/ano e por parte dos equipamentos foi de 4.609,58 kWh/ano.

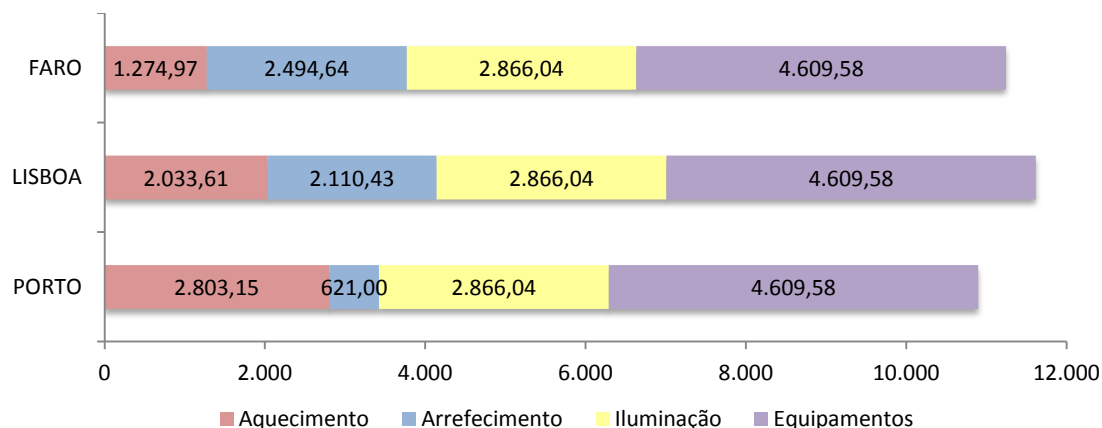


Figura 14 – Distribuição do consumo energético por uso final [kWh/ano] dependente da localização em pequenos edifícios de serviços

Relativamente ao consumo energético em termos percentuais, ou seja, a percentagem de consumo energético que cada utilização final despense em relação ao consumo total de energia do edifício, verifica-se na Figura 15 que os equipamentos são responsáveis pelo maior dispêndio de energia nos pequenos edifícios de serviços, nomeadamente no edifício do Porto com uma percentagem de 42,29% do consumo total de energia do edifício. Em todos os pequenos edifícios de serviços, os equipamentos são responsáveis por mais de 1/3 do consumo total de energia do edifício.

No caso do consumo de energia por parte da iluminação, não se observam grandes alterações entre os edifícios situados nas três cidades, variando entre 24,67% em Lisboa, 25,49% em Faro e 26,29% no Porto. Apesar disso, a iluminação é o segundo maior responsável pelo consumo de energia dos edifícios.

Em relação aos sistemas AVAC, observa-se que no edifício do Porto o aquecimento apresenta uma parcela considerável do consumo de energia com 25,72% e o arrefecimento a menor quota do consumo de energia com 5,70%. Ainda de destacar que o arrefecimento apresenta um consumo importante no edifício situado em Faro com 22,18% do consumo total de energia. No edifício de pequenos serviços em Lisboa o consumo energético em relação ao sistema AVAC observa-se que o arrefecimento é o consumidor predominante no entanto o aquecimento também apresenta uma parcela bastante considerável do consumo energético com 17,50%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

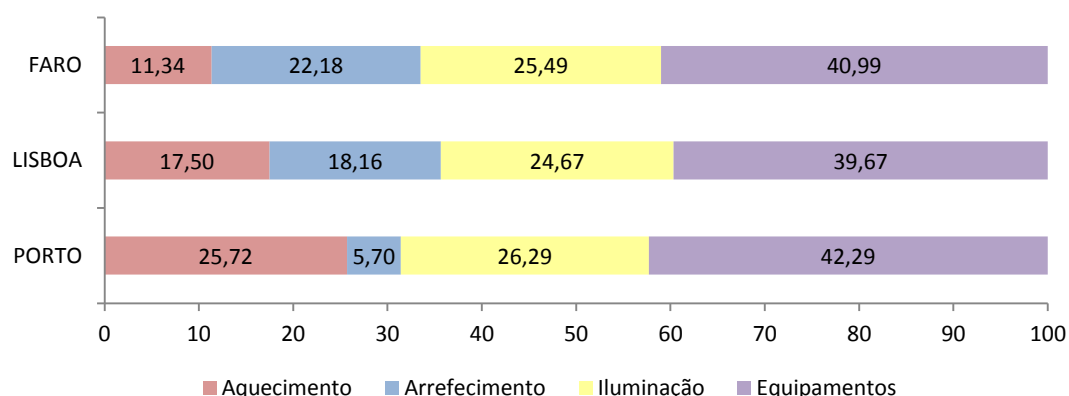


Figura 15 – Distribuição do consumo energético dependente da localização em termos percentuais (%) em pequenos edifícios de serviços

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das simulações do consumo energético do edifício de serviços realizadas para o perfil criado como ocupante referência para as três localizações.

Tabela 6 – Dados relativos às simulações realizadas em termos de consumo energético para as três localizações para os pequenos edifícios de serviços

<i>Ocupante referência</i>		Porto	Lisboa	Faro
Aquecimento	[kWh/ano]	2.803,15	2.033,61	1.274,97
	[%]	25,72	17,50	22,18
Arrefecimento	[kWh/ano]	621,00	2.110,43	2.494,64
	[%]	5,70	18,16	22,18
Iluminação	[kWh/ano]		2.866,04	
	[%]	26,29	24,67	25,49
Equipamento	[kWh/ano]		4.609,58	
	[%]	42,29	39,67	40,99
TOTAL		10.899,77	11.619,66	11.245,23

4.3. Alterações provocadas pelos ocupantes no consumo de energia em pequenos edifícios de serviços

A análise sobre o potencial de poupança ou desperdício de energia através do comportamento dos ocupantes foi conduzida através da comparação entre vários cenários. Através do cenário base descrito anteriormente correspondente ao comportamento do ocupante padrão em pequenos edifícios de serviços localizados em três cidades distintas foi quantificado e comparado as variações percentuais em termos de consumo energético de cada edifício para o perfil de um ocupante eficiente e um ocupante ineficiente.

Através das seguintes figuras é possível observar a influência das ações comportamentais dos ocupantes no consumo de energia dos edifícios, tendo em conta todos os pressupostos assumidos e explicados anteriormente.

Através da Figura 16 que representa o consumo total de energia do edifício de pequenos serviços na cidade do Porto verifica-se que em termos das ações realizadas pelo ocupante ineficiente a que apresenta um aumento considerável do consumo de energia é o facto do ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC cerca de 20% dos dias durante o ano, fazendo com que o consumo total do edifício aumente cerca de 14,49% seguido da ação do ocupante ineficiente deixar a iluminação e os equipamentos ligados durante todo o horário útil de trabalho com um aumento do consumo de energia de 12,71% e 10,19%, respetivamente.

Relativamente às ações realizadas por parte de um ocupante eficiente, verifica-se um grande potencial de poupança energética no caso de a iluminação natural ser suficiente para satisfazer as necessidades visuais dos ocupantes a iluminação artificial encontrar-se desligada. Esta simples ação acarreta uma poupança energética no pequeno edifício de serviços do Porto de 20,47%. No caso das ações realizadas pelo ocupante eficiente em relação aos equipamentos verifica-se uma redução de 10,50% do consumo de energia do edifício e a simples ação de desligar o sistema AVAC uma hora antes do final do horário útil de trabalho também apresenta um potencial de poupança de 1,53%.

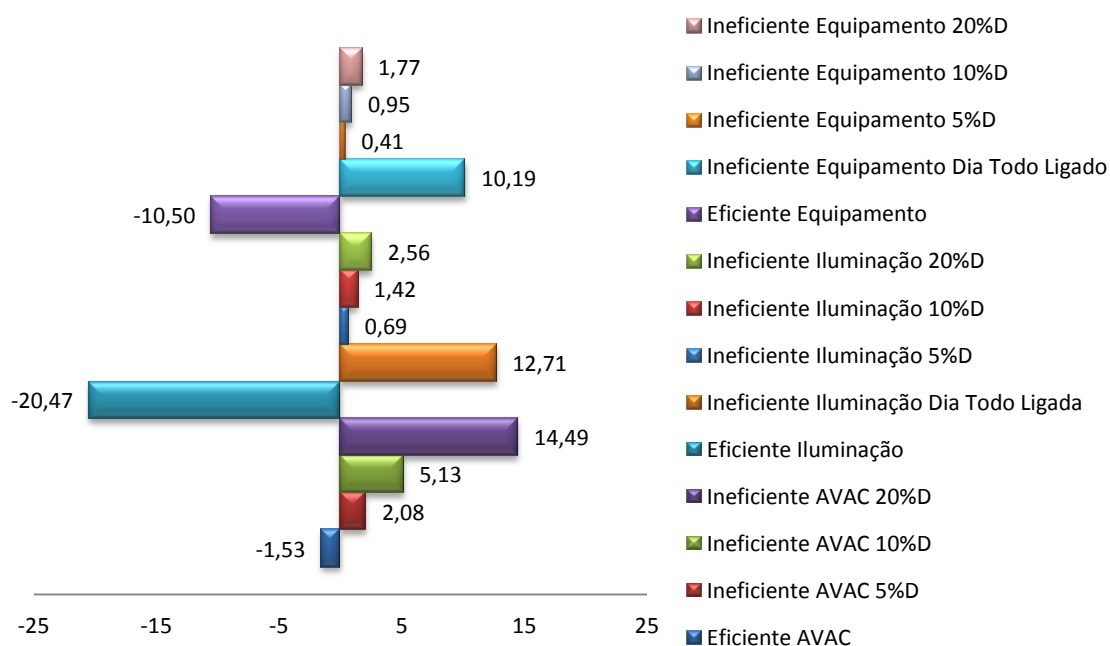


Figura 16 – Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços do Porto em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

No caso do pequeno edifício de serviços localizado em Lisboa (Figura 17) ao contrário do que se verifica no edifício localizado no Porto, a ação do ocupante ineficiente que provoca o maior consumo energético do edifício com 13,09% prende-se com o facto de a iluminação permanecer ligada durante todo o dia de trabalho, sendo que o esquecimento de desligar o sistema AVAC 20% dos dias durante o ano e os equipamentos permanecerem ligados durante todo o dia apresenta um aumento também considerável com 11,28% e 10,73, respetivamente.

Relativamente às ações realizadas pelos ocupantes eficientes dos pequenos edifícios de serviços representativos de escritório ação comportamental com maior impacto na poupança energética ocorre quando os ocupantes desligam a iluminação artificial quando a iluminação natural é suficiente com um potencial de redução energética de 21,87% e que as ações realizadas pelos ocupantes eficientes em relação aos equipamentos reduzem o consumo de energia do edifício em 11,33%

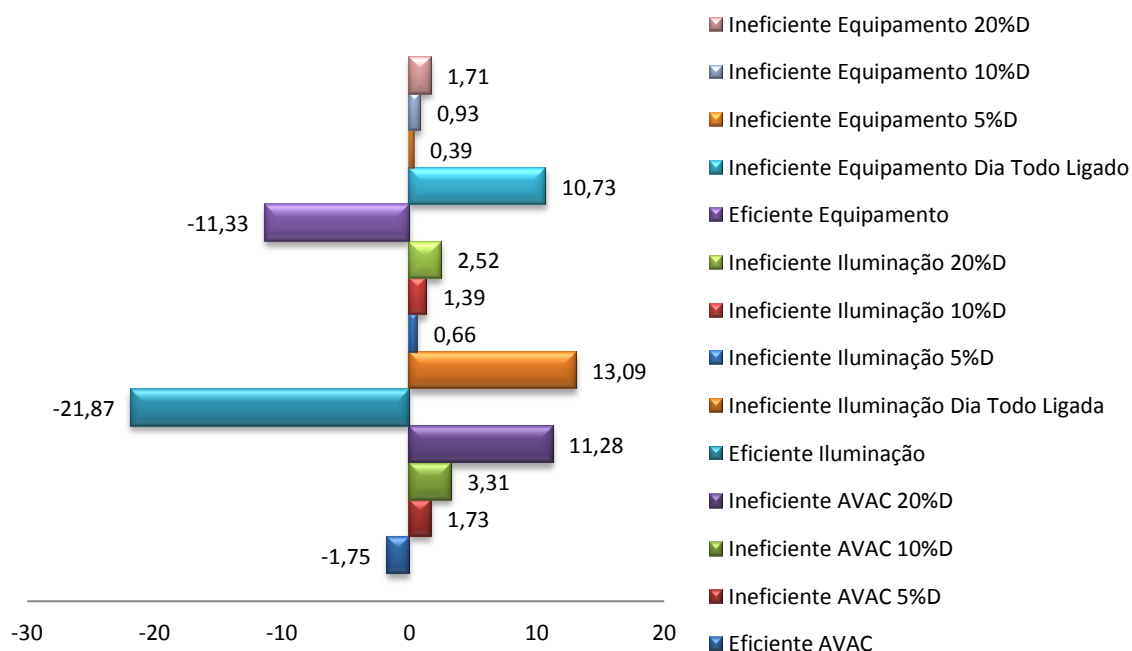


Figura 17 - Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços de Lisboa em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

Foram realizadas também simulações do consumo energético para um pequeno edifício de serviços localizado em Faro (Figura 18). Em concordância com os resultados obtidos para as ações realizadas pelos ocupantes ineficientes nos edifícios de serviços localizados em Lisboa, a ação que apresenta um maior consumo de energia do edifício de serviços em Faro é o facto de o ocupantes deixarem a iluminação ligada durante o horário útil de trabalho com 14,60% seguido da ação dos ocupantes deixarem os equipamentos ligados durante todo o dia com um aumento de cerca de 12,01% do consumo de energia total.

Relativamente às ações realizadas pelos ocupantes eficientes dos pequenos edifícios de serviços representativos de escritório em Faro observa-se que o simples feito de desligar a iluminação artificial quando a iluminação natural é suficiente incita a uma poupança do consumo energético total do edifício de 22,25% e as ações eficientes dos ocupantes perante os equipamentos uma redução do consumo de energia de 12,46%.

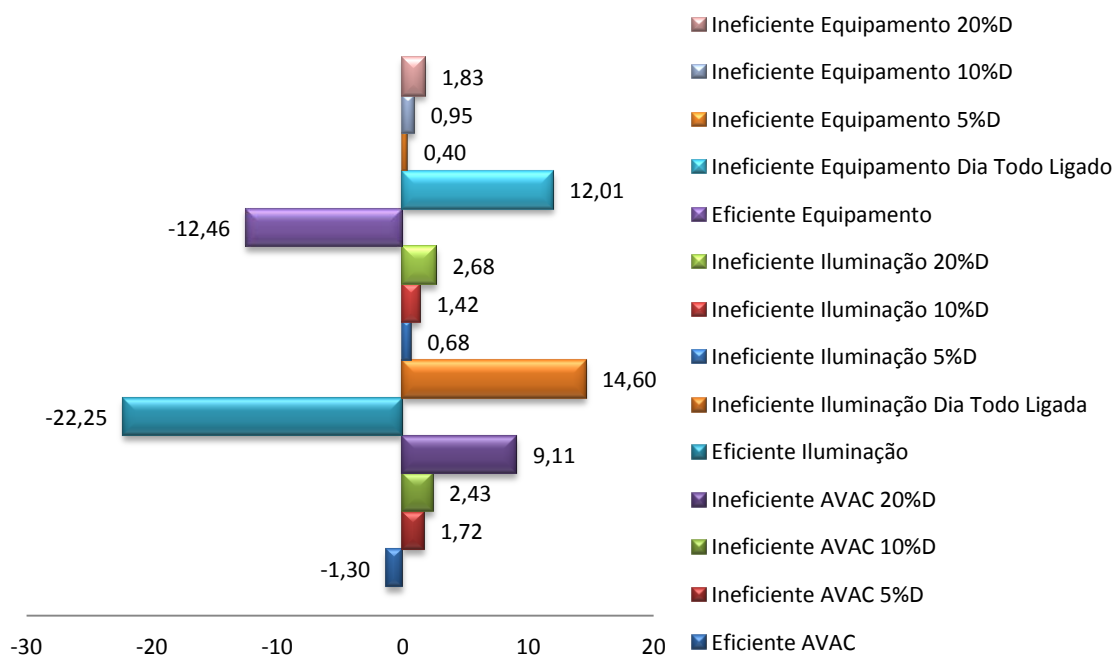


Figura 18 - Variação do consumo energético específico do pequeno edifício de serviços de Faro em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

Foi realizada uma análise relativamente ao aumento ou redução do consumo energético por utilização final de energia comparativamente aos três climas, especialmente ao aquecimento, arrefecimento, iluminação e equipamentos.

Relativamente ao aquecimento (Figura 19), verifica-se que a poupança energética através do ocupante eficiente nos três climas não varia muito, visto que a redução do consumo energético varia entre os 8,98% no edifício de Faro, 8,16% no edifício situado em Lisboa e 5,67% no edifício do Porto. Verifica-se que em termos das ações realizadas por parte do ocupante ineficiente, o aumento do consumo energético é superior no edifício localizado em Faro para todas as ações, sendo que o facto de o ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC 20% dos dias durante o ano aumenta consideravelmente o consumo energético por parte do aquecimento em cerca de 72,59% no edifício de Faro, 62,77% no edifício de Lisboa e 55,87% no edifício do Porto. Em termos das restantes ações executadas por parte do ocupante ineficiente observa-se que, para todas as ações ineficientes relacionados com o aquecimento, existe um aumento considerável do consumo energético dos edifícios sendo este superior no edifício de serviços situado em Faro.

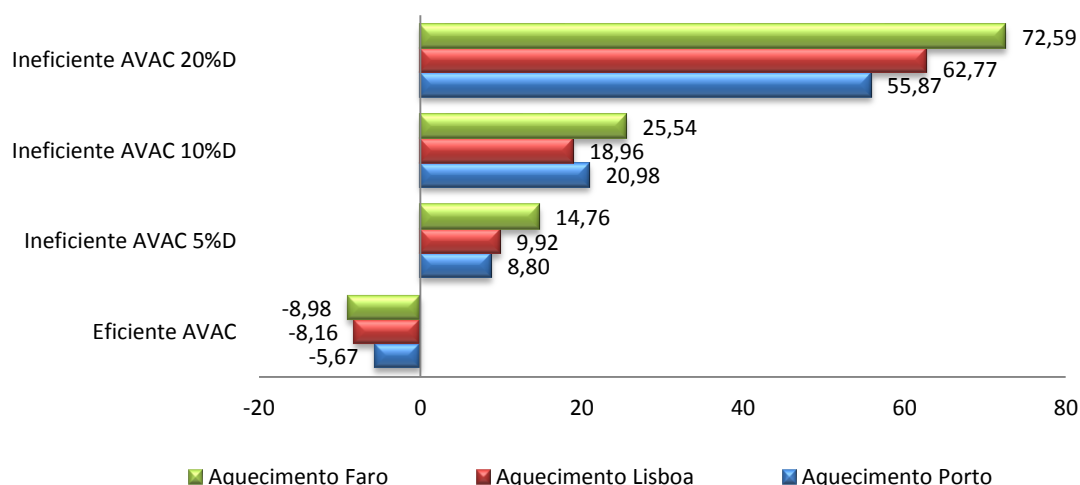


Figura 19 – Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do aquecimento para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

No que diz respeito ao consumo de energia por parte do arrefecimento observa-se na Figura 20 que através de ações comportamentais eficientes consegue-se obter poupanças do consumo de energia de 1,79% no edifício de Lisboa e 1,25% no edifício do Porto e Faro. No caso das ações ineficientes realizadas pelo ocupante verifica-se que apenas existe aumento do consumo de energia por parte do arrefecimento quando ele se esquece do sistema AVAC ligado 20% dos dias durante o ano. No caso de se esquecer do sistema AVAC 5% e 10% dos dias durante o ano constata-se que existe uma redução do consumo de energia, principalmente no edifício de serviços localizado na cidade do Porto. Estes resultados interessantes serão posteriormente compreendidos na discussão de resultados.

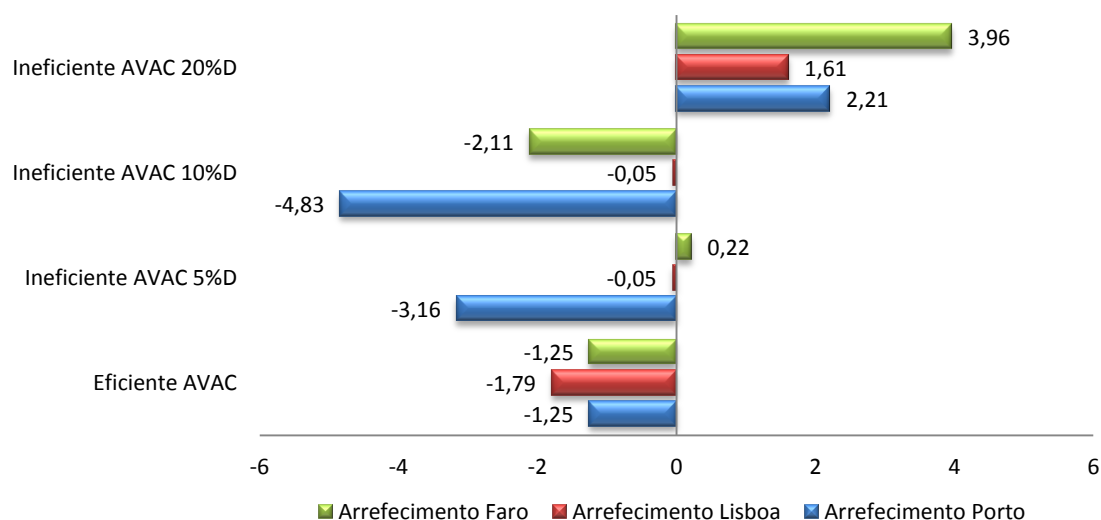


Figura 20 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do arrefecimento para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

Tal como explicado anteriormente, não existe alteração entre o consumo energético por parte da iluminação entre as diferentes localidades em relação às ações realizadas por parte dos ocupantes ineficientes (Figura 21), pois foram consideradas cargas térmicas idênticas relativas à iluminação para todos os edifícios. O comportamento ineficiente que conduz a um maior desperdício de energia por parte da iluminação diz respeito ao facto dos ocupantes deixarem a iluminação ligada durante todo o horário útil de trabalho, conduzindo a um aumento de 53,95% do consumo energético relativo à iluminação.

No caso das ações realizadas por parte dos ocupantes eficientes, verificam-se alterações entre os vários locais pois esta ação específica depende da iluminação natural. Assim, deste modo, o maior potencial de poupança energética obtêm-se no edifício de serviços localizado em Faro com 85,41% de redução de energia relativa à iluminação, pois, sendo a cidade que dispõem de uma maior duração e intensidade da iluminação natural verifica-se que a iluminação artificial encontra-se desligada durante um longo período de tempo. No entanto, nos edifícios localizados nas restantes cidades também se verifica, através do comportamento dos ocupantes, um enorme potencial de poupança sendo este acima de 80%.

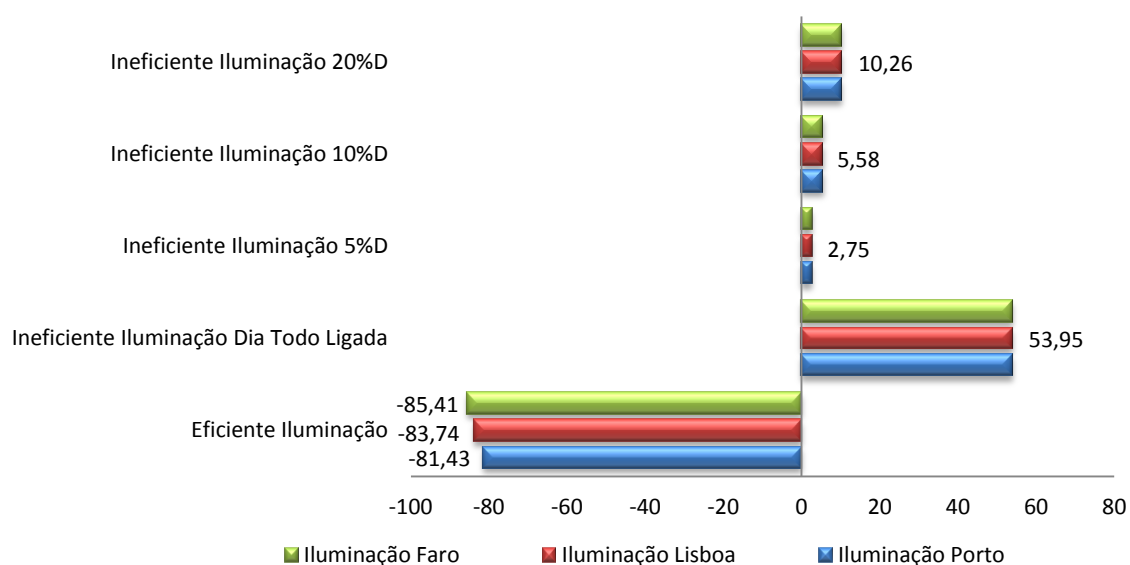


Figura 21 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte da iluminação para os pequenos edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

No que diz respeito ao consumo energético por utilização final por parte dos equipamentos (Figura 22), verifica-se que não existem alterações entre o consumo de energia entre as diferentes localizações, pois é um parâmetro que depende exclusivamente da carga térmica e horário definido no *template* e não depende de variáveis que derivem da localização climática, tal como se verificou na iluminação.

No que concerne às ações por parte dos ocupantes ineficientes e em concordância com os dados do consumo energético total, verifica-se que o facto de o ocupante deixar os equipamentos ligados durante todo o horário útil de trabalho conduz a um acréscimo do consumo de energia por parte dos equipamentos de 26,94%. Nas restantes ações ineficientes não se verificaram aumentos relevantes do consumo de energia.

No caso das ações realizadas por parte dos ocupantes eficientes e tal como explicado anteriormente estudou-se a variação do consumo energético por parte dos equipamentos caso o ocupantes opta-se por um plano de energia to tipo poupança em alternativa ao plano de energia equilibrado. Esta ação que derivada de um comportamento eficiente por parte dos ocupantes conduz a uma redução de 26,27% do consumo energético.

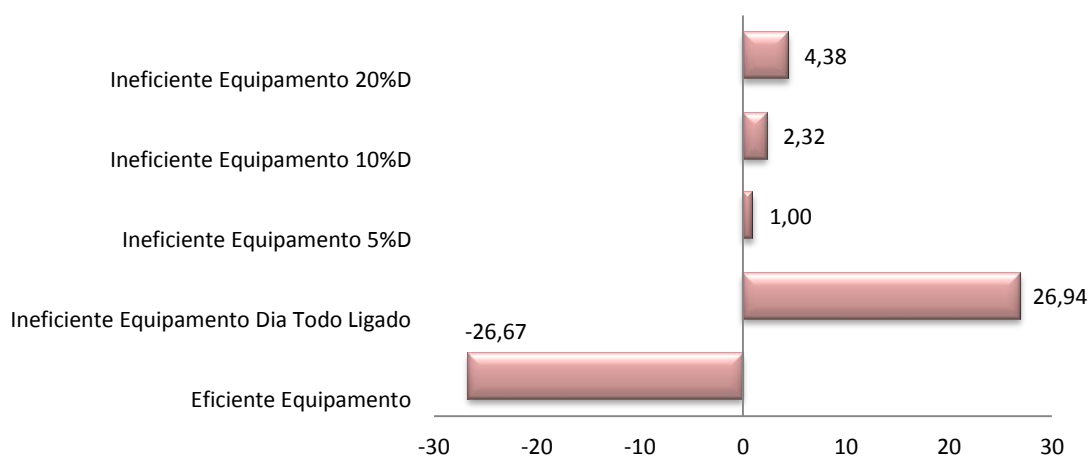


Figura 22 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte dos equipamentos para os pequenos edifícios de serviços em relação ao ocupante referência

4.4. Repartição do consumo de energia em grandes edifícios de serviços

Tal como efetuado para pequenos edifícios de serviços, foram realizadas simulações dinâmicas através do modelo padrão representativo de grandes edifícios de serviços para consumos energéticos através do *software DesignBuilder*.

Na Figura 23 observa-se os resultados procedentes da simulação dinâmica do comportamento típico de um ocupante que se rege pelos padrões de referência de utilização de um edifício de escritório representado no RSECE. Verifica-se, ao contrário dos resultados para os pequenos edifícios de serviços, que em termos de consumo total de energia, o edifício situado no Porto exibe o maior consumo energético com 937.819,10 kWh seguido pelo edifício

situado em Lisboa com 895.576,40 kWh, sendo o edifício localizado em Faro o que menos consome energia com 742.660,20 kWh.

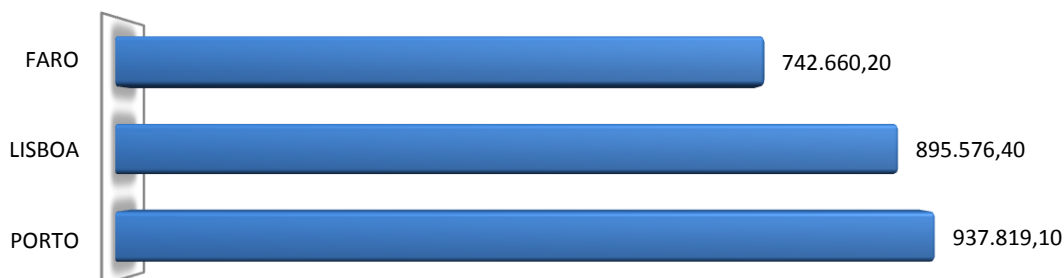


Figura 23 - Consumo total de energia [kWh] por localização do perfil *ocupante de referência* em grandes edifícios de serviços

Quanto ao consumo de energia por utilização final nos grandes edifícios de serviços verifica-se através da Figura 24 que o consumo energético por parte do aquecimento é superior no edifício localizado no Porto com 540.998 kWh/ano do que nas outras duas cidades. Este é valor já expectável derivado das condições climáticas previstas no RCCTE, onde o Porto sendo considerado uma zona climática de inverno I_2 as suas necessidades de aquecimento serão superiores às cidades de Lisboa e Faro consideradas estas zonas climáticas de inverno I_1 .

Relativamente ao consumo energético por parte do arrefecimento verifica-se que em termos absolutos o edifício localizado na cidade de Lisboa apresenta o maior consumo energético com 99.750 kWh/ano. O edifício situado na cidade de Faro também apresenta um consumo energético elevado em termos de arrefecimento com 85.271 kWh/ano. Em relação ao edifício localizado na cidade do Porto o consumo energético relativo ao arrefecimento não é muito elevado comparativamente com os edifícios situados nas outras cidades com 16.492 kWh/ano.

Tal como relatado anteriormente em relação ao pequeno edifício de serviços, o consumo energético resultante do arrefecimento no edifício não é superior ao que se observa na Figura 23 porque estabeleceu-se que tanto o pequeno como o grande edifício de serviços encontra-se encerrado durante o mês de Agosto para férias. Visto Agosto ser um dos meses mais quentes do ano, prevê-se que o consumo energético resultante do arrefecimento poderia ser superior ao previsto nos resultados.

Relativo ainda aos dados apresentados na Figura 23 observa-se que apenas existe variação do consumo energético entre as diferentes localizações em termos de sistemas AVAC, isto porque, tal como no pequeno edifício de serviços, não foram consideradas alterações em termos de cargas térmicas resultantes dos sistemas de iluminação artificial e equipamentos, sendo estes iguais em todos os grandes edifícios de serviços e que operam de acordo com os padrões de referência de utilização em edifícios de escritórios de acordo com o

RSECE. Deste modo, 145.813 kWh/ano do consumo energético do grande edifício de serviços deve-se à iluminação e 234.517 kWh/ano ao consumo por parte dos equipamentos.

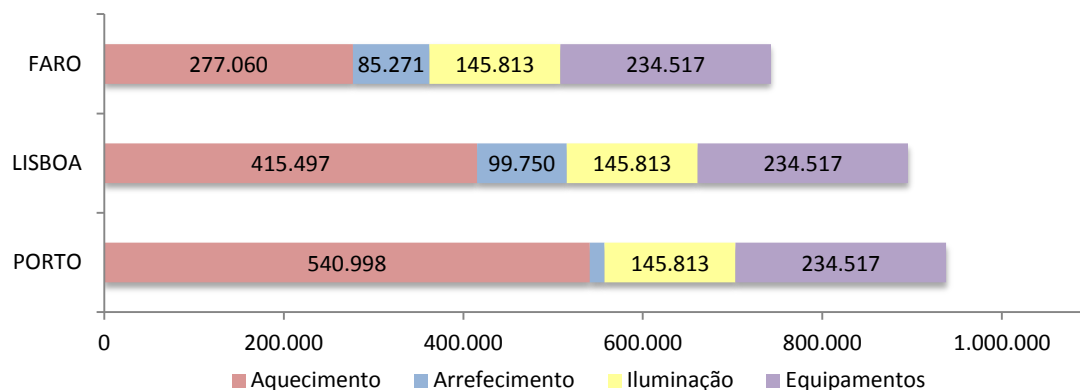


Figura 24 - Distribuição do consumo energético por uso final [kWh/ano] dependente da localização em grandes edifícios de serviços

No caso do consumo energético por utilização final em termos percentuais, verifica-se na Figura 25 que em todas as localizações o maior consumidor energético do edifício provém dos sistemas AVAC, nomeadamente, o aquecimento. Deste modo, verifica-se que o aquecimento representa 57,69% do consumo energético total do edifício localizado no Porto, 46,39% do consumo do edifício de Lisboa e por último 37,31% do consumo total de energia do edifício situado em Faro.

De distinguir que em termos percentuais, ao contrário do que se verificou em termos absolutos, o arrefecimento demonstra uma maior percentagem de consumo energético no edifício localizado em Faro com cerca de 11,48% comparativamente com o consumo dos edifícios nas outras localizações. Não muito diferente deste resultado, verifica-se que 11,14% do consumo total de energia do grande edifício de serviços de Lisboa resulta do arrefecimento do edifício.

Relativamente ao consumo energético por parte da iluminação artificial observa-se que o maior consumo é obtido no edifício de escritórios em Faro com 19,63% do consumo total de energia sendo que nos edifícios de serviços de Porto e Lisboa o consumo total de energia em termos de iluminação representa cerca de 15,55% e 16,28% respetivamente.

Quanto à percentagem de consumo total de energia que deriva dos equipamentos, observa-se na Figura 24 que os equipamentos representam uma parcela muito importante do consumo de energia dos edifícios. No edifício de serviços em Faro, os equipamentos são responsáveis por 31,58% do consumo total de energia ou seja quase um terço do consumo energético deste edifício provém dos equipamentos. Relativo ao consumo de energia em termos percentuais do edifício de serviços de Lisboa e Porto verifica-se que consumo de

energia resultante dos equipamentos é quase idêntico nos dois edifícios, com uma percentagem de 26,19% no edifício de Lisboa e 25,01% no edifício do Porto.

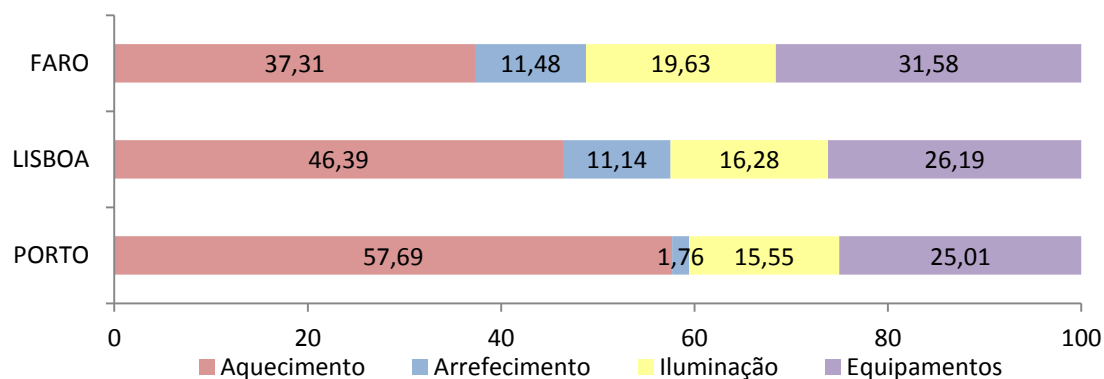


Figura 25 - Distribuição do consumo energético dependente da localização em termos percentuais (%) em grandes edifícios de serviços

Em forma de resumo observa-se na Tabela 7 os resultados das simulações do consumo energético do grande edifício de serviços realizadas para o perfil ocupante de referência nas três diferentes localizações. Verifica-se que em termos de consumo energético total, o grande edifício de serviços situado no Porto apresenta o maior consumo de energia com 937.819 kWh por ano. O consumo energético total do edifício de Lisboa também se verificou elevado comparativamente com os outros consumos com cerca de 895.576 kWh por ano. O edifício situado na cidade de Faro apresenta o menor consumo energético total com cerca de 742.660 kWh por ano.

Tabela 7 - Dados relativos às simulações realizadas em termos de consumo energético para as três localizações para os pequenos edifícios de serviços

Ocupante referência		Porto	Lisboa	Faro
Aquecimento	[kWh/ano]	540.997,5	415.497	277.060,1
	[%]	57,69	46,39	47,31
Arrefecimento	[kWh/ano]	16.492,07	99.749,80	85.270,55
	[%]	1,76	11,14	11,48
Iluminação	[kWh/ano]		145.812,5	
	[%]	15,55	16,28	19,63
Equipamento	[kWh/ano]		234.517,03	
	[%]	25,01	26,16	31,58
TOTAL		937.819,1	895.576,4	742.660,2

4.5. Alterações provocadas pelos ocupantes no consumo de energia em grandes edifícios de serviços

Foram recriados vários cenários, tal como executado para os pequenos edifícios de serviços, e a análise sobre o potencial de poupança ou desperdício de energia através do comportamento dos ocupantes foi conduzida através da comparação entre esses cenários e o consumo energético do ocupante referência.

Através do cenário base descrito anteriormente correspondente ao comportamento do ocupante padrão ou de referência foi quantificado e comparado as variações percentuais em termos de consumo energético específico de cada edifício para o perfil de um ocupante eficiente e um ocupante ineficiente.

A Figura 26 representa o consumo energético do edifício de grandes edifícios de serviços na cidade do Porto e observa-se que as ações realizadas pelo ocupante ineficiente no que respeita aos sistemas AVAC conduzem ao maior aumento do consumo total de energia do edifício em comparação com o cenário base, destacando o aumento do consumo total de energia do edifício em cerca de 30,61% no cenário em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC 20% dos dias durante o ano. No caso do ocupante ineficiente se esquecer de desligar o sistema AVAC durante 10% dos dias durante o ano corresponde ao segundo maior aumento do consumo energético do edifício com 10,55%.

Relativamente às ações realizadas por parte de um ocupante eficiente verifica-se que a redução energética no consumo total de energia do edifício não é tão elevada como se verificou para os pequenos edifícios de serviços. Ao contrário dos resultados evidenciados para o pequeno edifício de serviços do Porto, a ação de maior potencial relaciona-se com o facto de o ocupante desligar o sistema AVAC uma hora mais cedo do que o seu horário habitual de funcionamento com uma redução de 4,87% e a que menos potencia a redução do consumo total de energia é a ação de eficiência perante o sistema de iluminação com 1,89%.

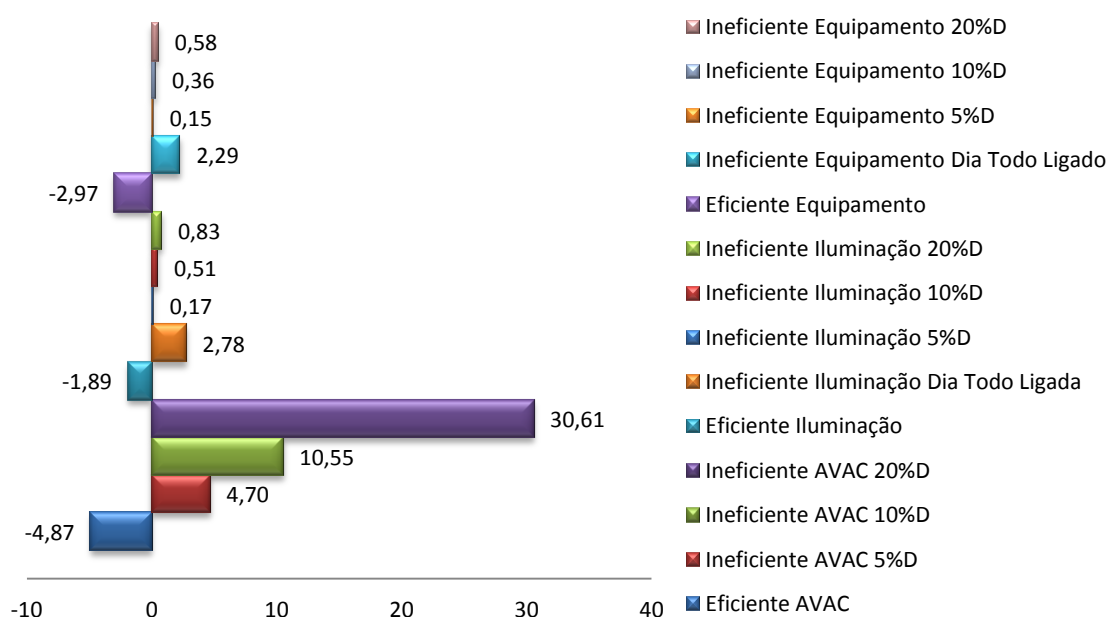


Figura 26 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços do Porto em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

Relativamente ao grande edifício de serviços localizado em Lisboa observa-se que, em conformidade com os resultados dos pequenos edifícios de serviços, o facto do ocupante ineficiente se esquecer de desligar o sistema AVAC 20% dos dias durante o ano provoca o maior aumento do consumo energético do edifício em cerca de 26,72%. Observa-se ainda através da Figura 27 que as ações do ocupantes se esquecer de desligar o AVAC cerca de 10% dos dias e deixar a iluminação e os equipamentos ligados durante todo o dia apresenta aumentos do consumo energético do edifício de 7,04%, 4,56% e 4,06% respetivamente.

No caso das ações praticadas pelos ocupantes eficientes do grande edifício de serviços representativos de escritório verifica-se que a comportamento eficiente por parte dos ocupantes relativamente aos equipamentos alcança uma redução de 4,77% do consumo energético seguido da ação eficiente perante o sistema AVAC com uma redução de 4%.

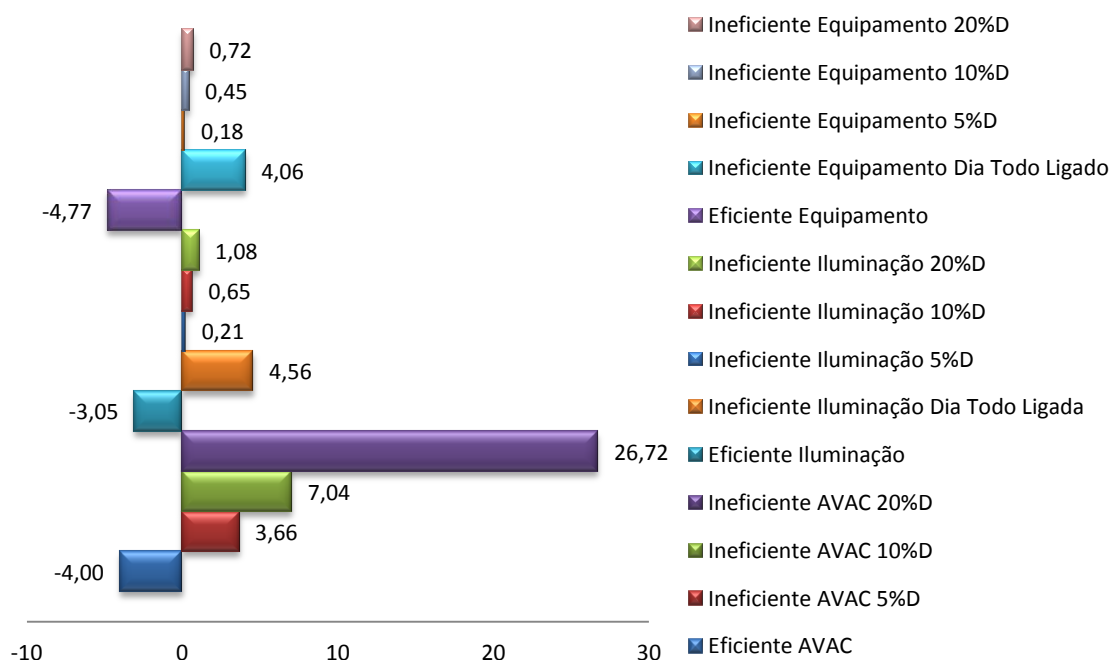


Figura 27 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços de Lisboa em termos percentuais através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

Foram realizadas também simulações relativas ao consumo energético para um grande edifício de serviços localizado em Faro (Figura 28). Em coerência com os resultados obtidos em todas simulações para os grandes edifícios de serviços e para as ações realizadas pelos ocupantes ineficientes nos edifícios de serviços localizados no Porto e Lisboa, a ação que apresenta um maior acréscimo do consumo de energia do edifício de Faro é o facto do ocupantes se esquecer de desligar o sistema AVAC durante 20% dos dias durante o ano com um acréscimo de 24,49% seguido do facto do ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC 10% dos dias com um aumento de 7,42% do consumo energético de referência. Um destaque também para o comportamento ineficiente face à iluminação e equipamentos pelo facto de, ao permanecerem ligados durante todo o dia, aumentam o consumo total do edifício cerca de 6,71% e 6,26% respetivamente.

Relativamente às ações realizadas pelos ocupantes eficientes dos pequenos edifícios de serviços representativos de escritório em Faro observa-se que o comportamento eficiente do ocupante face aos equipamentos conduz a uma redução considerável do consumo energético do edifício em cerca de 6,92% em relação ao consumo de energia base.

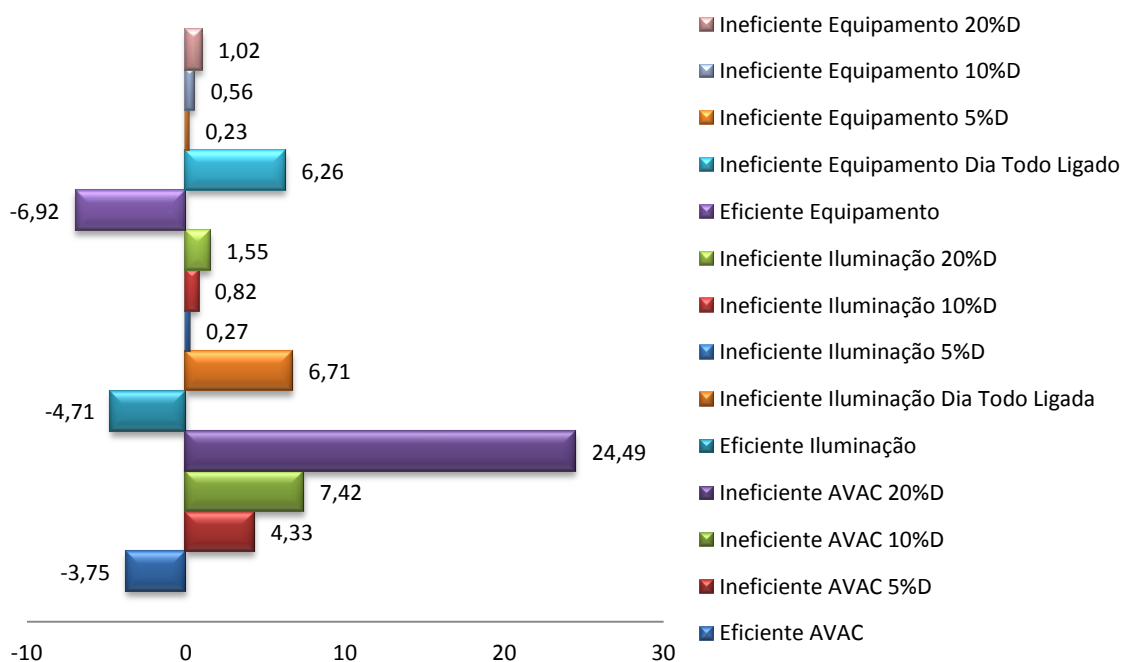


Figura 28 - Variação do consumo energético específico do grande edifício de serviços de Faro em termos percentuais (%) através do comportamento dos ocupantes em relação ao ocupante referência

Posteriormente realizou-se uma análise em relação ao acréscimo ou diminuição do consumo energético por utilização final de energia comparativamente aos três climas, particularmente no que diz respeito ao aquecimento, arrefecimento, iluminação e equipamentos. A variação do consumo de energia provocada pelo comportamento dos ocupantes é feita em relação ao consumo de energia provocado pelo comportamento de um ocupante de referência.

No caso do aquecimento (Figura 29) verifica-se que a poupança energética através do ocupante eficiente nos três climas não varia muito, visto que a redução do consumo energético varia entre os 9,48% no edifício de Faro, 8,34% no edifício situado em Lisboa e 8,47% no edifício de serviços do Porto. Tal como nos pequenos edifícios de serviços, o edifício situado em Faro apresenta o maior potencial de poupança face ao comportamento eficiente.

Verifica-se que em termos das ações realizadas por parte do ocupante ineficiente, o aumento do consumo energético é superior no edifício localizado em Faro para todas as ações, sendo que o facto de o ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC 20% dos dias durante o ano aumenta consideravelmente o consumo energético por parte do aquecimento em cerca de 63,23% no edifício de Faro, 56,67% no edifício de Lisboa e 51,93% no edifício do Porto.

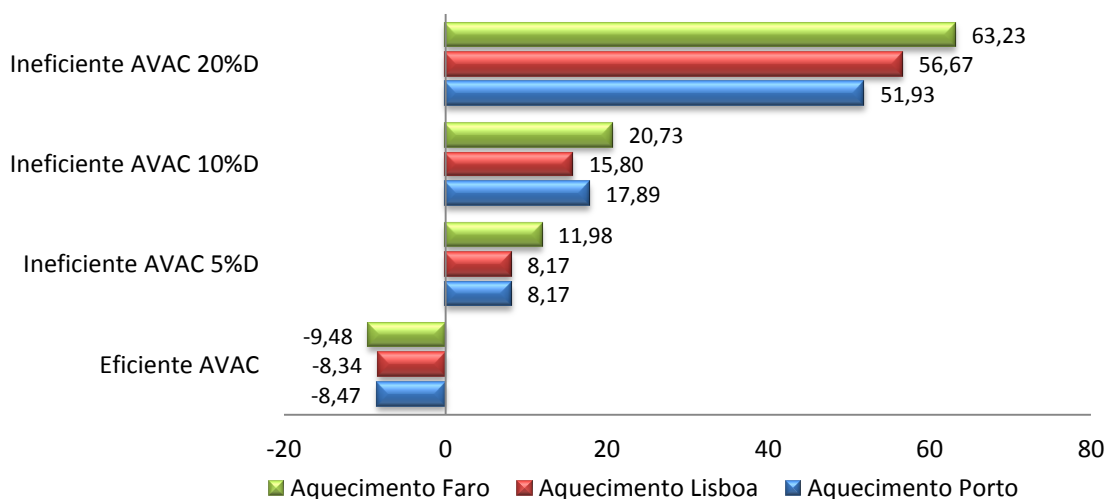


Figura 29 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do aquecimento para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

Relativamente ao consumo de energia por parte do arrefecimento observa-se na Figura 30 que através de ações comportamentais eficientes as poupanças obtidas no consumo de energia não são de grande natureza, sendo o máximo de energia recuperada de 1,86% no edifício de Faro. Tal como se verificou no caso dos pequenos edifícios de serviços, no caso das ações ineficientes realizadas pelo ocupante verifica-se que apenas existe aumento do consumo de energia por parte do arrefecimento quando ele se esquece do sistema AVAC ligado 20% dos dias durante o ano. No caso de se esquecer do sistema AVAC 5% e 10% dos dias durante o ano constata-se que existe uma redução do consumo de energia, principalmente no edifício de serviços localizado na cidade do Porto. Estes resultados curiosos serão posteriormente entendidos na discussão de resultados.

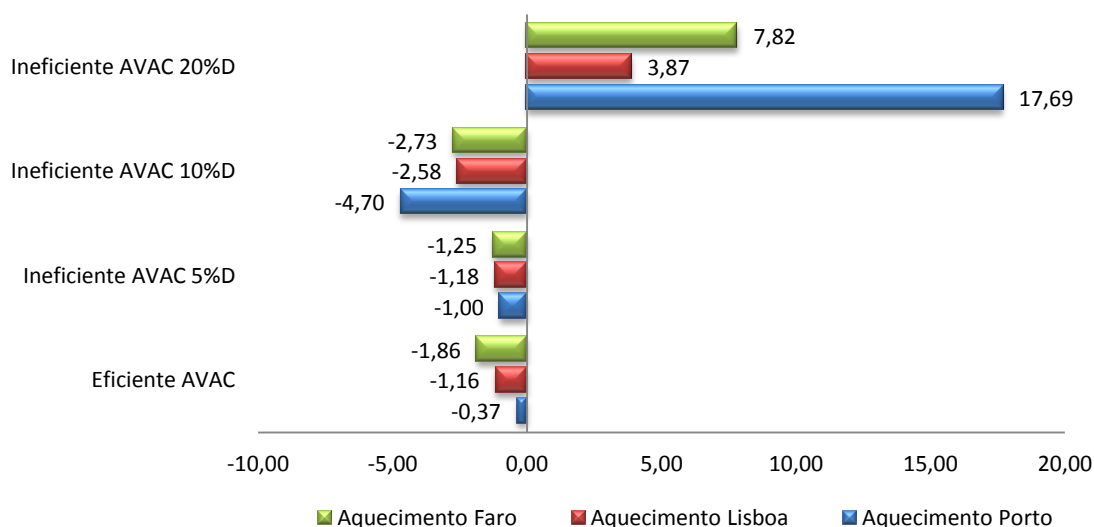


Figura 30 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte do arrefecimento para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

No que diz respeito ao consumo de energia por parte da iluminação (Figura 31), não existe alteração entre o consumo energético por parte da iluminação entre as diferentes localidades em relação às ações realizadas por parte dos ocupantes ineficientes, pois foram consideradas cargas térmicas idênticas relativas à iluminação para todos os edifícios. Em relação ao comportamento ineficiente, aquele que conduz a um maior desperdício de energia por parte da iluminação diz respeito ao facto dos ocupantes deixarem a iluminação ligada durante todo o horário útil de trabalho, conduzindo a um aumento de 44,88% do consumo energético relativo à iluminação.

No caso das ações realizadas por parte dos ocupantes eficientes, verificam-se alterações entre os vários locais pois estas ações específica depende da iluminação natural. Assim, deste modo, o maior potencial de poupança energética obtêm-se no edifício de serviços localizado em Faro com 25,55% de redução de energia relativa à iluminação, pois, sendo a cidade que dispõem de uma maior duração e intensidade da iluminação natural verifica-se que a iluminação artificial encontra-se desligada durante um longo período de tempo. No entanto, nos edifícios localizados nas restantes cidades também se verifica, através do comportamento dos ocupantes, um enorme potencial de poupança sendo este acima de 20%.

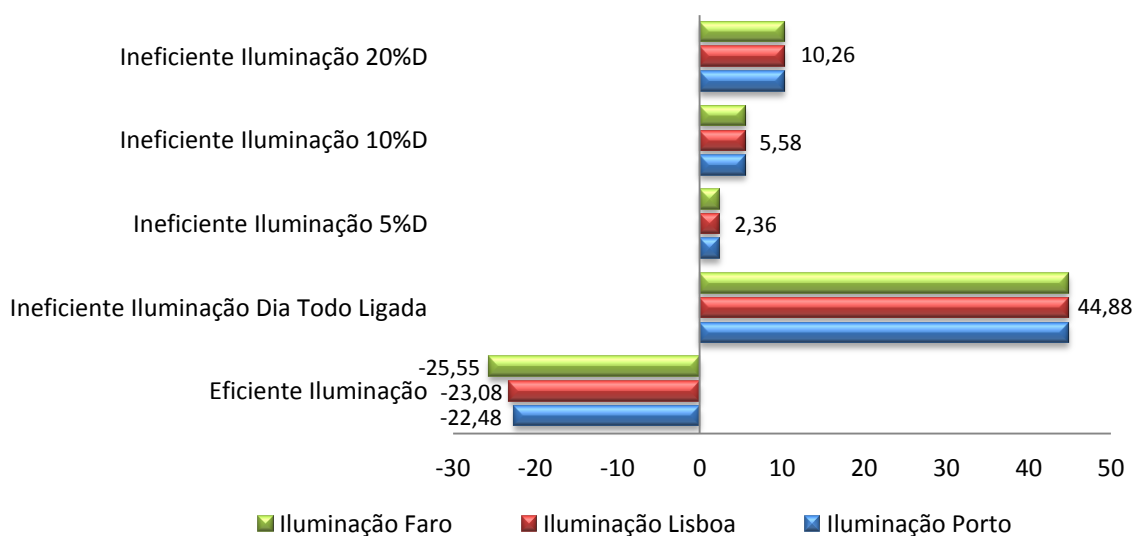


Figura 31 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte da iluminação para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

No que diz respeito ao consumo energético por utilização final por parte dos equipamentos (Figura 32), verifica-se que não existe alterações entre o consumo de energia entre as diferentes localizações, pois é um parâmetro que depende exclusivamente da carga

térmica e horário definido no *template* e não depende de variáveis que derivem da localização climática, tal como se verificou na iluminação. Deste modo verifica-se que em termos de variações percentuais não existe diferenças entre o aumento ou redução do consumo de energia entre os pequenos edifícios de serviços e os grandes edifícios de serviços.

No que respeita às ações por parte dos ocupantes ineficientes e em concordância com os dados do consumo energético total, verifica-se que o facto de o ocupante deixar os equipamentos ligados durante todo o horário útil de trabalho conduz a um acréscimo do consumo de energia por parte dos equipamentos de 26,94%. Nas restantes ações ineficientes não se verificaram aumentos relevantes do consumo de energia.

No caso das ações realizadas por parte dos ocupantes eficientes e tal como explicado anteriormente estudou-se a variação do consumo energético por parte dos equipamentos caso o ocupante opta-se por um plano de energia do tipo poupança em alternativa ao plano de energia equilibrado. Esta ação que derivada de um comportamento eficiente por parte dos ocupantes conduz a uma redução de 26,27% do consumo energético.

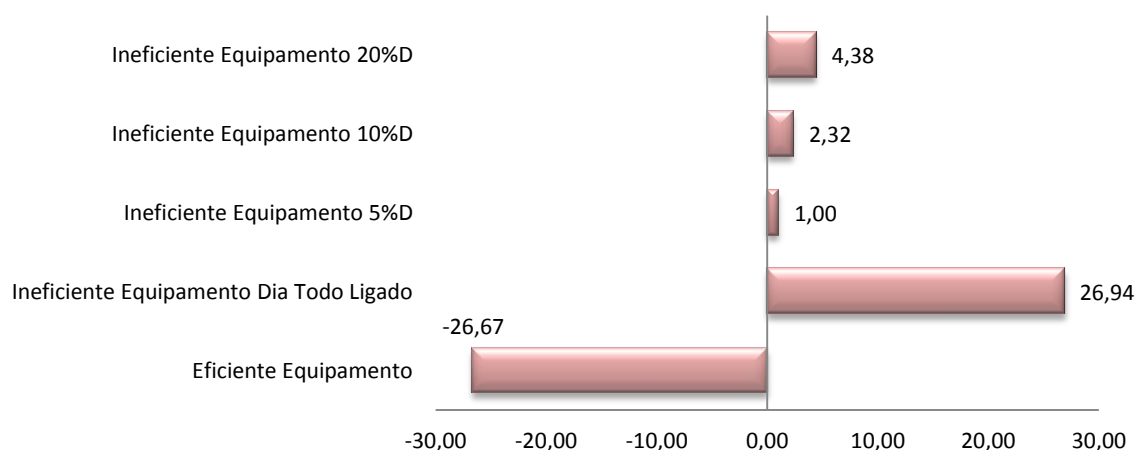


Figura 32 - Comparação do consumo energético em termos percentuais por parte dos equipamentos para os grandes edifícios de serviços situados nas três cidades em relação ao ocupante referência

4.6. Alterações provocadas pelo conjunto de ações do comportamento dos ocupantes

Posteriormente optou-se por simular em conjunto de todas as ações relacionadas com os comportamentos dos ocupantes. Ou seja, verificar o impacto de um ocupante ineficiente que se esqueças de desligar o sistema AVAC, a iluminação e os equipamentos 5%, 10% e 20%

das vezes e também o impacto de um ocupante que tenha como preocupação a redução do consumo energético através da conjugação das ações eficientes anunciadas anteriormente. Deste modo é possível perceber a gama de impacto do comportamento dos ocupantes para edifícios de serviços, de acordo com os pressupostos descritos anteriormente.

No que respeita ao comportamento dos ocupantes em pequenos edifícios de serviços, é possível observar na Figura 33 que um ocupante que tenha como preocupação desligar a iluminação artificial sempre que a iluminação natural seja suficiente, que opte por um plano de energia de poupança no seu computador e que desligue o sistema AVAC uma hora antes do final do horário útil de trabalho consegue alcançar um potencial de redução do consumo de energia de 38,26% em edifícios localizados em Faro, 34,75% em edifícios de Lisboa e 32,96% em edifícios de serviços do Porto.

Por outro lado, um ocupante ineficiente sem qualquer motivação para a eficiência energética e que se esqueça de desligar os sistemas AVAC, a iluminação e os equipamentos em alguns dias do ano, como por exemplo, 20% dos dias durante um ano, provoca um aumento do consumo de energia de 18,21% em edifícios do Porto, 14,41% do consumo total de energia em edifícios de serviços de Lisboa e 12,94% em edifícios de Faro.

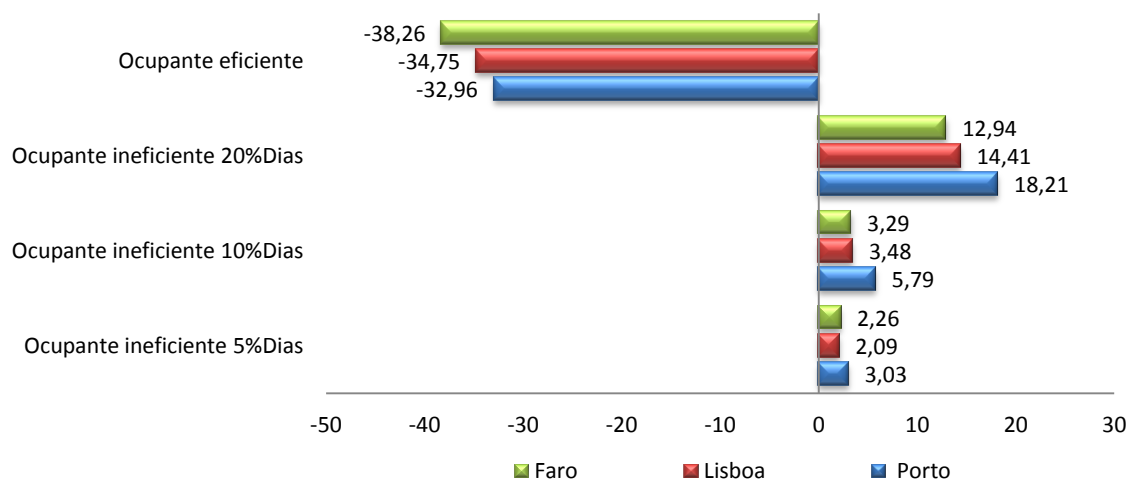


Figura 33 – Influência da combinação das ações realizadas pelos ocupantes no consumo total de energia do edifício de pequenos serviços. Variação percentual do consumo de energia em relação ao ocupante referência

O mesmo sucede no que respeita a grandes edifícios de serviços (Figura 34), verificando que um ocupante eficiente apresenta um potencial de poupança energética de 15,26% do consumo total de energia de um edifício de Faro, 11,76% num edifício de serviços de Lisboa e 9,78% no edifício localizado no Porto.

Em termos do ocupante ineficiente, verifica-se mais acentuadamente um aumento do consumo de energia decorrente da ação comportamental em comparação com os pequenos edifícios de serviços. Observa-se na Figura 34 que um ocupante ineficiente 20% dos dias durante um ano em termos de sistemas AVAC, iluminação e equipamentos provoca um aumento do consumo de energia de 31,71% em grandes edifícios de serviços situados no Porto, 28,29% em edifícios de Lisboa e 27,12% do consumo total de energia em edifícios de Faro.

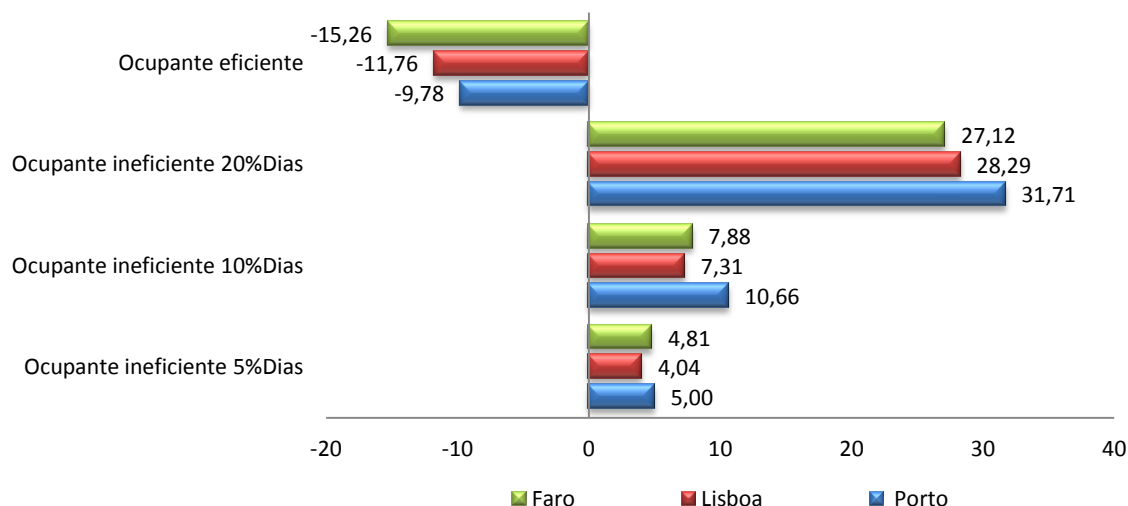


Figura 34 - Influência da combinação das ações realizadas pelos ocupantes no consumo total de energia do edifício de grandes serviços. Variação percentual do consumo de energia em relação ao ocupante referência

4.7. Discussão

A avaliação do desempenho dos edifícios é um ponto fulcral para a eficiência energética, pois apenas com o seu conhecimento, é possível identificar se os edifícios possuem, ou não, boa eficiência energética. As ferramentas de simulação estão firmemente integradas no setor da construção. Estas trouxeram um aumento de rapidez na fase de projeto, uma maior eficiência, a possibilidade de testar uma vasta gama de soluções de *design*, resultando no aperfeiçoamento das soluções de projeto. Assim, as ferramentas de simulação do desempenho energético dos edifícios podem aumentar a competitividade, produtividade, qualidade e a eficiência na indústria da construção, assim como facilitar a aplicação de tecnologias inovadoras.

Esta dissertação teve como principal objetivo estudar e quantificar a influência das ações comportamentais dos ocupantes no consumo de energia no setor de serviços. Através da simulação dinâmica, foi possível analisar alguns comportamentos que afetam a eficiência energética positivamente ou negativamente e quantificar o potencial de redução efetiva do

consumo energético através da alteração das atitudes e comportamentos por parte dos utilizadores.

Vários são os esforços dedicados ao longo do tempo na identificação dos impactos do comportamento dos ocupantes no consumo de energia em edifícios. Diversos fatores influenciam o consumo de energia em edifícios simultaneamente conduzindo a uma falta de precisão na identificação dos efeitos dos comportamentos individuais dos ocupantes. Durante este trabalho verificou-se essa dificuldade em identificar completamente a influência do comportamento e atividade dos ocupantes por meio de simulação, devido à diversidade e complexidade dos comportamentos.

A maioria do conhecimento e dados sobre o consumo de energia e a avaliação das medidas de conservação de energia destinam-se ao setor residencial, enquanto a bibliografia disponível sobre o setor de serviços é bastante limitado. Um dos obstáculos encontrados durante este trabalho prendeu-se com a falta de informação e dados detalhados sobre a influência do comportamento dos ocupantes especificamente no setor de serviços embora seja o setor com maior taxa de crescimento do consumo de energia.

Apesar de ter sido aprovada nova legislação (Decreto-Lei n.º 118/2013) relativo ao desempenho energético dos edifícios optou-se por neste trabalho utilizar ainda a terminologia da antiga legislação, ou seja, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

Em termos de discussão dos resultados verificou-se que as ações de esquecimento por parte dos ocupantes 5%, 10% e 20% dos dias durante o ano em relação à iluminação e equipamentos não apresentam aumentos consideráveis no consumo energético dos edifícios de serviços comparativamente aos sistemas AVAC. Isto deve-se essencialmente ao facto de a taxa de utilização do sistemas AVAC estar sempre em funcionamento ou desligado (Figura 11), não havendo um nível intermédio, ao contrário do que se verifica para a iluminação e equipamentos (Figura 9 e 10). Ou seja, quando um ocupante se esquece da iluminação ou equipamentos ligados durante um fim de semana verifica-se que apenas 25% do total da iluminação ou equipamentos permanecerá em funcionamento, ao contrário do sistema AVAC que permanecerá 100% em funcionamento durante o período de esquecimento por parte dos ocupantes. Na Tabela 10 verifica-se quais as alterações simuladas em termos das ações decorrentes do comportamento dos ocupantes.

Relativamente aos resultados das simulações observa-se nas Tabela 17, 18, 19, 20, 21 e 22 do Apêndice B que nas simulações realizadas de forma a caracterizar o ocupante eficiente, ou seja, quando a iluminação artificial está desligada sempre que a iluminação natural seja suficiente e quando o ocupante opta por um plano de energia de poupança para o seu computador ou até mesmo quando o ocupante decide desligar o sistema AVAC uma hora

antes do horário útil de trabalho, verifica-se que existe sempre aumento do consumo de energia por parte do aquecimento. Isto deve-se ao facto de que a carga térmica em funcionamento é menor libertando menos calor para o meio envolvente do edifício. Ou seja, visto que a carga térmica é menor e o *set-point* do aquecimento está programada para manter a temperatura do edifício em 20°C, o aquecimento irá estar em funcionamento mais tempo de forma a compensar o calor que deveria ser emitido pela iluminação e equipamentos e que já não se encontra disponível. No entanto, este aumento do consumo energético por parte do aquecimento não é relevante do ponto de vista do consumo de energia total do edifício pois as medidas comportamentais eficientes simuladas apresentam um potencial de poupança de energia considerável para que o consumo total de energia no edifício seja reduzido.

No que diz respeito às diferenças encontradas entre os pequenos e os grandes edifícios de serviços verificou-se que a área do edifício é um parâmetro que influencia o consumo energético do edifício. Nomeadamente no que concerne à simulação do comportamento do ocupante eficiente em relação iluminação verifica-se que a redução do consumo de energia nos pequenos edifícios de serviços varia entre os 81,43% no edifício do Porto e os 85,41% no edifício de Faro e que nos grandes edifícios de serviços altera entre os 21,80% no edifício do Porto e 25,55% no edifício de Faro. Esta grande diferença entre a redução do consumo entre pequenos e grandes edifícios deve-se ao facto de a iluminação natural não satisfazer as necessidades visuais dos ocupantes em todo o espaço. Ou seja, no caso do pequeno edifício de serviços, visto que a área é reduzida, verifica-se através da Figura 35 que maior parte do espaço apresenta níveis de iluminância superiores a 500 lux recomendados para que a iluminação artificial se encontre desligada. No caso do grande edifício de serviços, apenas os ocupantes que se encontrem junto das janelas poderão desfrutar da iluminação natural, fazendo com que no centro do edifício a iluminação natural apresente níveis de iluminância inferiores a 500 lux e por isso a iluminação artificial permanecerá ligada (Figura 35).

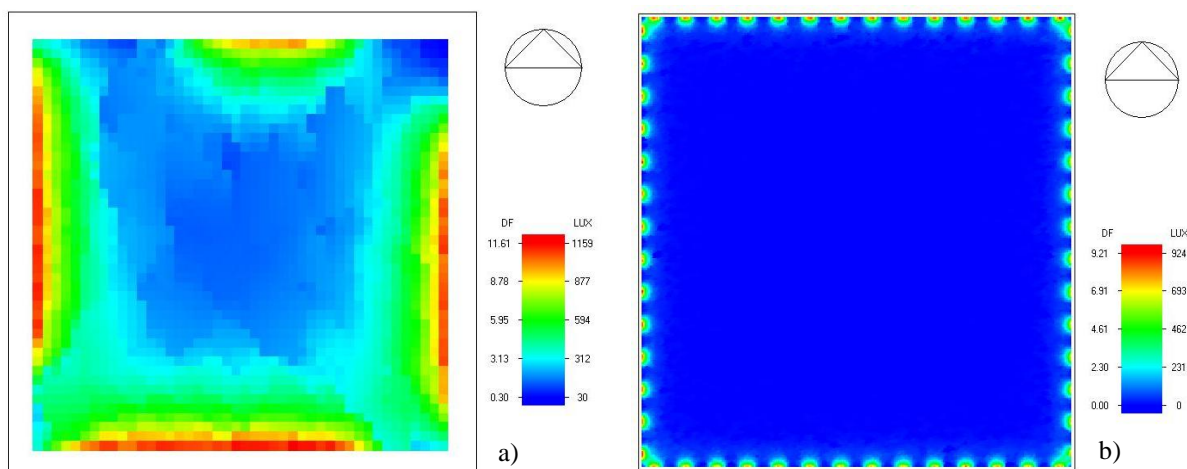


Figura 35 – Níveis de iluminância no pequeno edifício de serviços (a) e grande edifício de serviços (b)

Como referido nos resultados do consumo total de energia por utilização final dos sistemas AVAC, verifica-se que quando o ocupante ineficiente se esquece de desligar o sistema AVAC cerca de 5% e 10% dos dias durante o ano verifica-se uma redução do consumo de energia por parte do arrefecimento, nomeadamente em edifícios de serviços localizados no Porto. Este resultado pode ser explicado pelo facto de que o sistema AVAC é composto por aquecimento, arrefecimento e ventilação mecânica. Deste modo, quando o ocupante ineficiente se esquece do sistema AVAC ligado 5% e 10% dos dias durante o ano ocorre o fenómeno de arrefecimento gratuito (*free cooling*).

O arrefecimento gratuito é uma estratégia de arrefecimento que explora a existência de diferenças de temperatura entre ambientes para a produção de arrefecimento, ou seja, fornece um meio de manter ou reduzir a temperatura interna sem a necessidade de executar o compressor no sistema de refrigeração. Este pode ocorrer quando a temperatura do ambiente externo é menor à do ar interior. Esse ar exterior é então transferido para o interior do edifício, diretamente ou indiretamente, neste caso através da ventilação mecânica. Deste modo, o arrefecimento através de equipamento de refrigeração é completamente evitado em determinadas alturas do ano e muitas vezes durante a noite.

De forma a testar esta teoria, foi simulado um edifício de serviços em que o ocupante se esquece de desligar o sistema de aquecimento e arrefecimento 5% e 10% dos dias durante o ano, fazendo com que a ventilação mecânica funcione normalmente de acordo com horário estabelecido anteriormente como padrão de utilização dos edifícios de serviços. Verificou-se que o consumo de energia por parte do arrefecimento aumenta quando não é utilizado o arrefecimento gratuito (Tabela 8). Deste modo, fica esclarecido que quando o ocupante se esquece do sistema AVAC ligado durante 5% e 10% dos dias durante o ano verifica-se então uma redução do consumo de energia por parte do arrefecimento derivado do arrefecimento gratuito, no entanto em termos do consumo total do edifício verifica-se que as ações realizadas pelo ocupante ineficiente em relação ao sistema AVAC, provoca um aumento do consumo de energia.

Tabela 8 – Diferenças do consumo de energia com e sem arrefecimento gratuito

	Consumo de energia do arrefecimento (com arrefecimento gratuito)		Consumo de energia do arrefecimento (sem arrefecimento gratuito)	
	kWh/ano	%	kWh/ano	%
Ocupante ineficiente – AVAC 5% dos dias	601,38	- 2,16	645,85	4,00
Ocupante ineficiente – AVAC 10% dos dias	590,99	- 4,83	669,50	7,81
Ocupante ineficiente – AVAC 20% dos dias	634,73	2,21	757,79	22,03

Durante este trabalho foram simuladas em conjunto as ações realizadas por parte dos ocupantes ineficientes e eficientes de forma a avaliar o seu impacto no consumo de energia do edifício em questão. Verificou-se que os pequenos edifícios de serviços apresentam um grande potencial de redução do consumo de energia do edifício devido às ações comportamentais eficientes, principalmente devido à iluminação natural. Caso os ocupantes dos pequenos edifícios de serviços realizassem as ações simuladas neste trabalho poder-se-ia atingir uma redução do consumo total de energia até cerca de 38%. No caso dos grandes edifícios de serviços torna-se essencial intervir na mudança de comportamentos, principalmente, em comportamento ineficientes que se realizam com frequência. Os ocupantes ineficientes 20% dos dias durante o ano são responsáveis pelo aumento do consumo total de energia até cerca de 31%.

5. Conclusão

5.1. Sumário

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido e com a finalidade de saber se foram alcançados todos os objetivos propostos. Para além disso são também apresentados os obstáculos encontrados durante o percurso. Para terminar indicam-se algumas perspetivas de desenvolvimento de trabalho futuro.

5.2. Conclusões Gerais

Uma das barreiras mais significativas para alcançar o objetivo de melhorar a eficiência energética dos edifícios prende-se com a falta de conhecimento acerca dos fatores que determinam o consumo de energia. Muitas vezes existe uma discrepância significativa entre o consumo energético previsto e real nos edifícios. A razão desta lacuna é geralmente pouco compreendida e tem muito mais a ver com o papel do comportamento humano do que com as características do edifício.

De entre todos os determinantes que afetam o consumo energético, o comportamento dos ocupantes é dos menos estudados no entanto a revisão bibliográfica realizada revela que a comunidade científica acredita que a mudança de comportamentos apresenta um potencial de poupança energética comparável, na maioria dos casos, às soluções tecnológicas. A característica mais relevante da mudança comportamental é que em grande parte não acarreta custos, não é necessário nenhum conhecimento tecnológico, é facilmente aplicável a edifícios novos e existentes e apesar de tudo isto, conduz um potencial de motivação na medida em que uma vez que os ocupantes de um edifício desenvolvem uma cultura de conservação energética, facilmente se pode propagar pelos restantes ocupantes, especialmente em edifícios de serviços. Não existem contudo muitos trabalhos que quantifiquem o potencial de poupança energética associado a alterações comportamentais. É difícil identificar completamente as influências do comportamento dos ocupantes e suas atividades, nomeadamente por meio de simulação computacional, devido à diversidade e complexidade dos comportamentos dos ocupantes. As atuais ferramentas apenas conseguem imitar padrões de comportamentos de uma forma rígida, sendo esta também uma das limitações deste trabalho.

Um dos principais contributos deste estudo foi propor uma metodologia de análise de comportamentos significativos e relevantes para a redução do consumo energético no setor de

serviços. Poucos são os estudos sobre a influência dos ocupantes no consumo energético no setor de serviços e este trabalho ambiciona contribuir para aumentar a informação útil recorrendo a ferramentas computacionais para estimar quantitativamente o impacto de diferentes padrões comportamentais sobre o consumo anual de energia no edifício.

A metodologia proposta neste trabalho é baseada em simulações utilizando o *software DesignBuilder* sendo este a primeira interface gráfica exaustiva para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. O comportamento dos ocupantes foi categorizado em três perfis diferentes, o ocupante referência, ocupante eficiente e ocupante ineficiente de acordo com o potencial impacto no consumo de energia dos edifícios de serviços.

Neste trabalho foram estudados os efeitos sobre o consumo energético resultantes de ações de carácter comportamental sobre os sistemas AVAC, a iluminação e os equipamentos sendo a única fonte de energia a eletricidade. A energia elétrica é considerada uma forma de energia cara, escassa na medida que resulta em grande escala de conversão de energias fósseis e poluidora pelo que é recomendado que sejam implementadas medidas de redução do consumo de energia elétrica. Como se verificou pelos resultados, a alteração de comportamentos resulta em níveis consideráveis de redução do consumo de energia. Uma das principais conclusões deste trabalho é que se torna essencial apostar no desenvolvimento e implementação de medidas de carácter comportamental contra o desperdício energético, nomeadamente em pequenos edifícios de serviços, pois é onde se verifica um maior potencial de redução do consumo de energia. Verifica-se que a redução do consumo por parte da iluminação nos edifícios de pequenos serviços ronda os 80% e nos grandes edifícios de serviços cerca de 20%. No caso de os ocupantes conjugarem todas as ações verifica-se que o potencial de redução do consumo total de energia do edifício para um ocupante eficiente num pequeno edifício de serviços é de cerca de 35% enquanto num grande edifício é de cerca de 12%.

No caso do consumo de energia em grandes edifícios de serviços têm-se verificado que estes evoluem no sentido de se tornarem cada vez mais automatizados diminuindo assim a influência dos ocupantes no consumo de energia. Neste caso é fundamental investir na formação de gestores de energia capacitados para uma boa gestão de energia em grandes edifícios de serviços.

Outra das conclusões evidenciadas por este trabalho prende-se com o facto de ser mais vantajoso investir em medidas comportamentais em certas localizações derivado às suas condições climáticas. Ou seja, medidas comportamentais relacionadas com parâmetros que dependem das condições climáticas, como por exemplo a iluminação natural, obtêm-se maior redução do consumo energético em certas localizações em detrimento de outras. Verifica-se que a redução do consumo total de energia decorrente da conjugação das ações eficientes dos

ocupantes é de cerca de 9,78% num grande edifício de serviços localizado no Porto ao contrário dos 15,28% obtidos no grande edifício situado em Faro.

É importante referir que uma das conclusões mais importantes deste trabalho é que é possível utilizar a simulação dinâmica de edifícios para simular comportamento dos ocupantes e não só para alterações a nível tecnológico ou da envolvente do edifício. Uma das grandes vantagens da utilização do *DesignBuilder* na simulação dinâmica dos edifícios prende-se com o facto de poderem ser cruzados vários tipos de resultados. Ou seja, é possível observar as curvas de carga tanto do consumo total de energia ao longo do ano como do consumo de energia por parte dos sistemas representativos dos edifícios, como a iluminação, equipamentos, entre outros. Este tipo de informação permite ajudar os possíveis gestores de energia na decisão de gestão de energia a outro nível.

Embora os resultados obtidas nestas simulações estejam de acordo com a bibliografia encontrada, a sua extrapolação deve ser feita com algum cuidado pois os modelos foram desenvolvidos de acordo com vários pressupostos que são específicos do estudo realizado.

Do ponto de vista ambiental, o potencial de poupança energética acima mencionada trará benefícios para a sociedade, independentemente da localização ou da medida praticada. Não há dúvida de que qualquer medida de poupança de energia contribuirá para a preservação do meio ambiente e prevenção da depleção de recursos.

5.3. Trabalho futuro

Nesta dissertação são apresentados valores representativos da redução do consumo energético decorrentes da alteração de comportamentos dos ocupantes dos edifícios. Como trabalho futuro relativamente à influência dos comportamentos dos ocupantes propõem-se que seja avaliado o potencial da poupança de energia para várias tipologias de edifícios de serviços, pois os sistemas implementados variam de acordo com o tipo de edifício. Além disso também se propõem que seja avaliado em termos de intervalos de dados relativos à poupança energética para cada ação decorrente do comportamento dos ocupantes.

Um dos pressupostos neste trabalho assumidos prende-se com o facto do ocupante se esquecer de desligar o sistema AVAC, a iluminação e os equipamentos cerca de 5, 10 e 20% dos dias durante o ano. Estes dias não foram escolhidos sendo por isso um processo aleatório. De modo a tornar estes valores mais credíveis seria necessário realizar uma análise estatística para obter um consumo médio mais realista decorrente desta ação, de forma a tentar atenuar o efeito da aleatoriedade dos dias durante o ano.

5.CONCLUSÃO

Como verificado com este estudo, o comportamento dos ocupantes é um dos determinantes que apresenta um grande impacto no consumo de energia dos edifícios de serviços. Deste modo, sugere-se que seja realizada mais investigação sobre de que forma é possível motivar os ocupantes a alterar o seu estilo de trabalho de um ocupante referência ou ineficiente para uma atitude mais pró-ativa na promoção da eficiência energética.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Poortinga W., Steg L., Vleg C., Wiesma G., Household preferences for energy- saving measure: a conjoint analysis, *Journal of Economic Psychology* 24 (1) (2003) 49–64.
- [2] "Eurostat 2013. Final Energy Consumption, by setor. European Comission. 2013.
- [3] Boyano A., Hernandez P., and Wolf O., "Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations," *Energy Build.*, vol. 65, pp. 19–28, Oct. 2013.
- [4] Tabak V., 2008. "User Simulation of Space Utilisation: System for Office Building Usage Simulation". PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [5] Gyberg P. and Palm J., "Influencing households' energy behaviour—how is this done and on what premises?," *Energy Policy*, vol. 37, no. 7, pp. 2807–2813, Jul. 2009.
- [6] "Decreto-Lei n.º 118/2013. D.R. Série A" 159 (20-08-2013)," 2013, pp. 4988–5005, 2013.
- [7] "Decreto-Lei n.º 79/2006. D.R. Série A" 67 (04-04-2006)," 2006, pp. 2416–2468, 2006.
- [8] "Decreto-Lei n.º118/2013. D.R. Série A" 67 (04-04-2006)," 2006, pp. 2468–2513, 2006.
- [9] Carrico, A.R. and Riemer M., "Motivating energy conservation in the workplace: An evaluation of the use of group-level feedback and peer education". *Journal of Environmental Psychology*, vol.31, Nov. 2010, pp. 1-13.
- [10] Fabi V., Andersen R.V., Corngati S., and Olesen B.W., "Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models," *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 188–198, Dec. 2012.
- [11] Hoes P., Hensen J.L.M., Loomans M.G.L.C., Vries B., Bourgeois D. "User behavior in whole building simulation". *Energy and Buildings* 2009;41(3):295–302.
- [12] Virote J. and Neves Silva R., "Stochastic models for building energy prediction based on occupant behavior assessment," *Energy Build.*, vol. 53, pp. 183–193, 2012.
- [13] Robinson D., "Some trends and research needs in energy and comfort prediction, in: *Comfort and Energy Use in Building*", Windsor, United Kingdom, 2006.
- [14] E. Team, *Tips & tricks for using EnergyPlus: Insider secrets to using EnergyPlus*, Technical Report, U.S. DOE Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), 2010.
- [15] Tronchin L. and Fabbri K., "Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation" *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1176–1187, Jan. 2008.
- [16] Fabi V., Andersen R.V., Corngati S.P., Olesen B.W., and Filippi M., "DESCRIPTION OF OCCUPANT BEHAVIOUR IN BUILDING ENERGY SIMULATION: STATE-OF-ART AND CONCEPTS FOR IMPROVEMENTS", *TEBE Research Group* , Department of Energetics , Politecnico di Torino , Corso Duca degli ICIEE , Department of Civil Engineering , Technical Univ, pp. 14–16, 2011.

- [17] Haas R., Auer H., Biermayr P. "The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating". *Energ Build* 1998; 27:195 - 205
- [18] Branco G., Lachal B., Gallinelli P., and Weber W., "Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data", *Energy Build.*, vol. 36, no. 6, pp. 543–555, Jun. 2004.
- [19] Linden A., Carlsson-Knyama A., and Eriksson B., "Efficient and inefficient aspects of residential energy behaviour: What are the policy instruments for change?", *Energy Policy*, vol. 34, no. 14, pp. 1918–1927, Sep. 2006.
- [20] Karjalainen S., "Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 4, pp. 1594–1603, Apr. 2007.
- [21] Lenzuni P., Freda D., and Del Gaudio, "Classification of thermal environments for comfort assessment," *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 53, no. 4, pp. 325–332, Jun. 2009.
- [22] Moujalled B., Cantin R., and Guarracino G., "Comparison of thermal comfort algorithms in naturally ventilated office buildings," *Energy Build.*, vol. 40, no. 12, pp. 2215–2223, Jan. 2008.
- [23] Filippín C., Flores Larsen S., Beascochea A., and Lesino G., "Response of conventional and energy-saving buildings to design and human dependent factors," *Sol. Energy*, vol. 78, no. 3, pp. 455–470, Mar. 2005.
- [24] Andersen R.V., "Occupant Behaviour with regard to control of the indoor environment", PhD Thesis, International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark.
- [25] Guerra Santin O., Itard L., and Visscher H., "The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock," *Energy Build.*, vol. 41, no. 11, pp. 1223–1232, Nov. 2009.
- [26] Rijal H.B., Tuohy P., Humphreys M., Nicol J.F., Samuel A., and Clarke J., "Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings," *Energy Build.*, vol. 39, no. 7, pp. 823–836, Jul. 2007.
- [27] Fabi V., "Influence of Occupant's Behaviour on Indoor Environmental Quality and Energy Consumptions - A Roadmap to predict the unpredictable energy-related occupant behaviour." Politecnico di Torino. May 2013.
- [28] Page J., "Simulating occupant presence and behaviour in buildings", École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland, 2007.
- [29] Yu Z., Fung B.C.M., Haghighat F., Yoshino H., and Morofsky E., "A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption," *Energy Build.*, vol. 43, no. 6, pp. 1409–1417, Jun. 2011.
- [30] Warren P.R., Parkins L.M., "Window-opening Behaviour in office buildings". ASHRAE Trans 1984; 90 (1B):1056 - 76.
- [31] Raja, I.A., Nicol, J.F., McCartney, K.J., Humphreys, M.A., 2001. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings* 33 (3), 235–244.
- [32] Nicol J., "Characterising occupant behaviour in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans", in: Proceedings of the 7th International IBPSA Conference, 2001.
- [33] Herkel S., Knapp U., and Pfafferott J., "Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings", *Build. Environ.*, vol. 43, no. 4, pp. 588–600, Apr. 2008.

- [34] Clarke J.A., "Energy simulation in building design". 2 ed. Bristol: Butterworth- Heinemann; 2001
- [35] Hand J.W., 1988. "Removing barriers to the use of simulation in the building design professions", PhD Thesis, Glasgow, University of Strathclyde.
- [36] Swan L.G., and Ugursal V.I., "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 1819–1835, Oct. 2009.
- [37] Bourgeois D., Reinhart C., and Macdonald I., "Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control", *Energy Build.*, vol. 38, no. 7, pp. 814–823, Jul. 2006.
- [38] Ryan E.M. and Sanquist T.F., "Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions," *Energy Build.*, vol. 47, pp. 375–382, Apr. 2012.
- [39] Reinhart C.F., "Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds," *Sol. Energy*, vol. 77, no. 1, pp. 15–28, Jan. 2004.
- [40] Glicksman R. L., and Taub S., "Thermal and behavioural modelling of occupant-controlled heating, ventilating and air conditioning systems", *Energy and Buildings* 25, 243 – 249, 1997.
- [41] Clarke, J., Macdonald, I., Nicol, J.F., 2006. Predicting adaptive responses-simulating occupied environments. Proceedings of Windsor conference on Comfort and Energy Use in Buildings- Getting them right. Cumberland Lodge, Windsor, UK.
- [42] Dutton S., and Shao L., "Window opening behaviour in a naturally ventilated school", *SimBuild 2010*, Fourth National Conference of IBPSA-USA, pp. 260–268, 2010.
- [43] de Dear R., Brager G. S. "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference", *ASHRAE Trans* 1998 ; 104(1) : 145 - 67.
- [44] Wagner A., Gossauer E., Moosmann C., Gropp T., Leonhart R. "Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – results of field studies in German low energy office buildings". *Energy and Buildings* 2007; 39 (7) : 758–69.
- [45] Abushakra B., Sreshthaputra A., Haberl J., Claridge D.E., "Compilation of diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations", Report RP-1093, ASHRAE, 2001.
- [46] Bertoldi P., Atanasiiu B., "Electricity Consumption and Efficiency Trends in the eu-27". Energy Efficiency Status Report 2012, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, 2012.
- [47] ADENE, "Energy Efficiency Policies and Measures in Portugal - ODYSSEE- MURE 2010, Monitoring of EU and national energy efficiency targets", Lisbon, November, 2012.
- [48] OECD/IEA. "Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency: Key Insights from IEA Indicator Analysis –In support of the G8 Plan of Action". Paris: International Energy Agency/Organisation for Co-operation and Development; 2008. p. 94
- [49] Fabi, V., Corgnati, S.P., Andersen, R.V., Filippi, M. & Olesen, B.W., , 'Effect of occupant behaviour related influencing factors on final energy end uses in buildings. Proceeding of Climamed'11. 2011
- [50] Schweiker M., "Occupant behaviour and the related reference levels for heating and cooling", PhD dissertation, Tokyo City University, 2010.
- [51] Haldi F. and Robinson D., "Interactions with window openings by office occupants," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 12, pp. 2378–2395, Dec. 2009.

- [52] Masoso O.T. and Grobler L.J., "The dark side of occupants' behaviour on building energy use", *Energy Build.*, vol. 42, no. 2, pp. 173–177, Feb. 2010.
- [53] Clevenger C.M., Haymaker J., "The impact of the building occupant on energy modeling simulations", in: *Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, International Society for Computing in Civil and Building Engineering, Montreal, Canada, 2006
- [54] Nicol F., Humphreys M., "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings", *Energy and Buildings* 34 (6) (2002) 563–572.
- [55] Toftum J., 2010. "Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future". *Building and Environment* 45 (1), 23–28
- [56] Peng C., Yan D., Wu R.H., Wang C., Zhou X., and Jiang Y., "Quantitative description and simulation of human behavior in residential buildings", *Building Simulation*, 5(2): 85 - 94
- [57] Correia da Silva P., Leal V. and Andersen M., "Occupants interaction with electric lighting and shading systems in real single-occupied offices: Results from a monitoring campaign", *Build. Environ.*, vol. 64, pp. 152–168, Jun. 2013.

APÊNDICES

Apêndice A

Soluções construtivas

Tabela 9 - Soluções construtivas utilizadas na caracterização dos edifícios de serviços situados em Lisboa e Faro de forma a cumprir os requisitos do coeficiente de transmissão térmica estabelecido no RCCTE

Superfície	Materiais	Espessura (m)	U (W/m ² °C)	Estrutura
Paredes Externas	Reboco	0,02	0,7	
	XPS	0,0310		
	Tijolo Furado	0,22		
	Reboco	0,02		
Cobertura (telhado plano)	Tela impermeabilizadora	0,01	0,00	
	XPS	0,0556		
	Betão Armado	0,40		
	Caixa-de-ar	0,30		
	Reboco	0,02		
Piso	Betão Armado	0,20	0,00	
	XPS	0,0526		
	Reboco	0,02		
	Madeira Flutuante	0,01		

Representação dos edifícios simulados

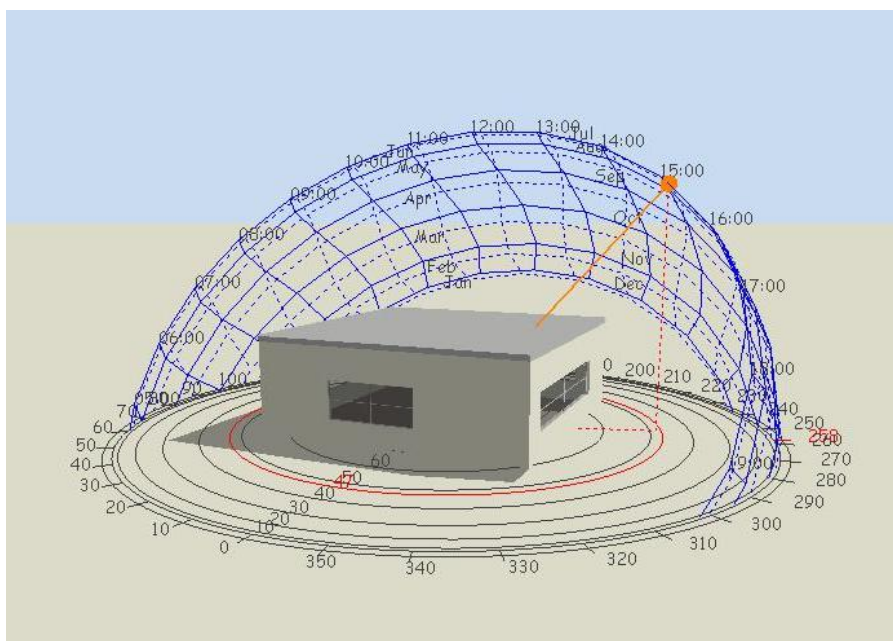


Figura 36 – Representação do pequeno edifício de serviços através do *DesignBuilder*

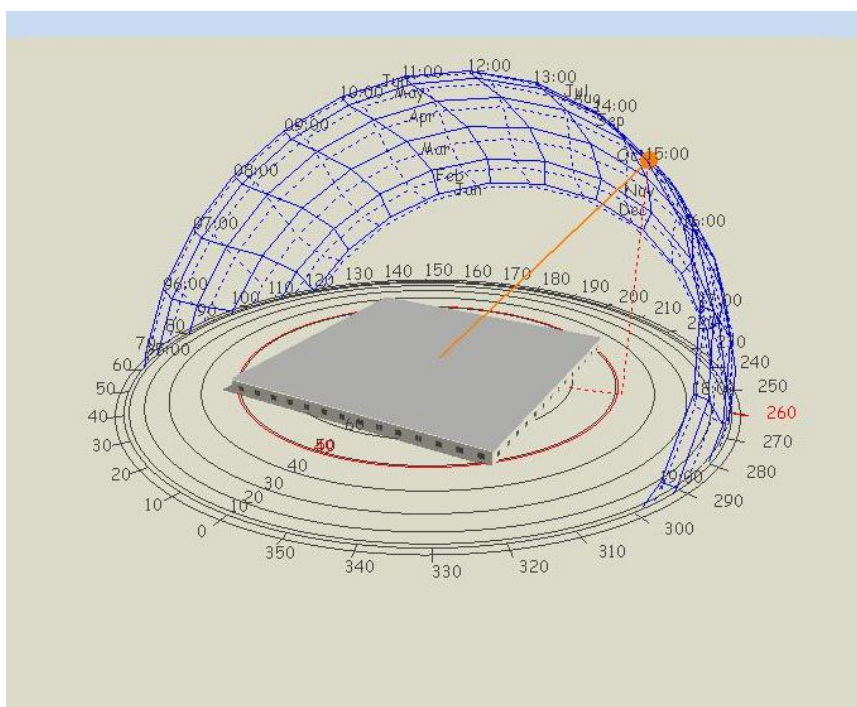



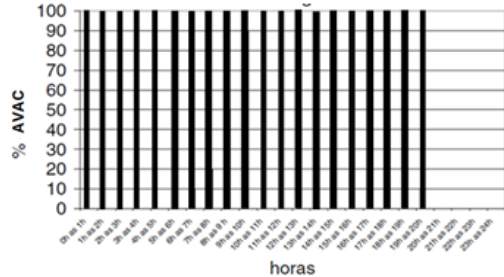
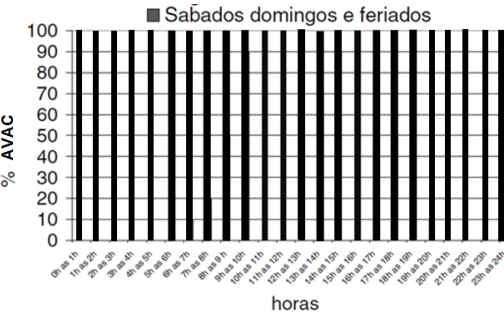


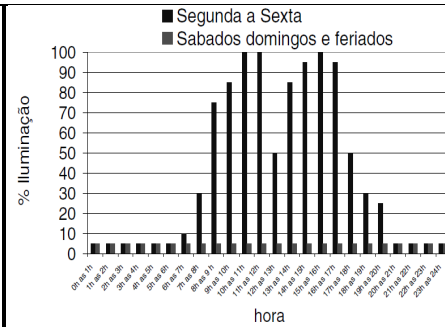
Figura 37 - Representação do pequeno edifício de serviços através do *DesignBuilder*

Apêndice B – Resumo dos perfis dos ocupantes

Tabela 10 – Resumo dos perfis criados representativo de cada ocupante e horários utilizados na configuração de cada ação resultante do comportamento dos ocupantes

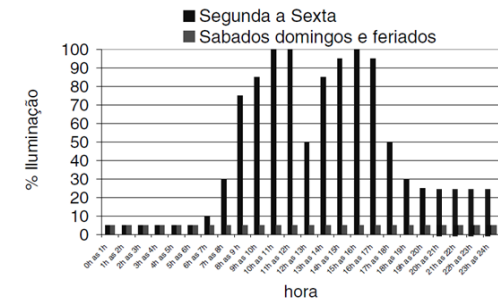
Comportamento dos ocupantes	Ocupante Referência	Ocupante Eficiente	Ocupante Ineficiente
Sistemas AVAC	<p>Liga 1h antes da ocupação do edifício e é função do utilizador desligar no final do horário útil de trabalho;</p> 	<p>Utilizador desliga AVAC 1h antes de sair do horário útil de trabalho;</p> 	<p>Ocupante esquece-se de desligar o sistema AVAC durante 5,10 e 20% dos dias durante o ano.</p> <p>1) Ocupante esquece-se de desligar AVAC durante a semana:</p> <p>✓ Dia em que se esquece de desligar AVAC</p>  <p>✓ Dia seguinte após se ter esquecido de desligar AVAC</p>

			 <p>✓ Sistema AVAC fica ligado durante todo o fim-de-semana</p> 
Iluminação	Liga ou desliga a iluminação artificial de acordo com o perfil de utilização da iluminação estabelecido no RSECE para os edifícios de escritórios;	Ajustam a utilização da iluminação artificial de acordo com o nível de luminância da iluminação natural. Caso a iluminação natural apresente níveis de luminância aceitáveis para os ocupantes verifica-se que	<p>Ocupante esquece-se de desligar a iluminação durante 5,10 e 20% dos dias durante o ano:</p> <p>1) Ocupante esquece-se de desligar iluminação durante a semana:</p> <p>✓ Dia em que se esquece de desligar iluminação</p>

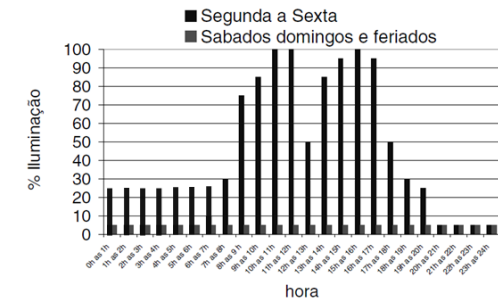


a iluminação artificial encontra-se desligada e vice-versa;

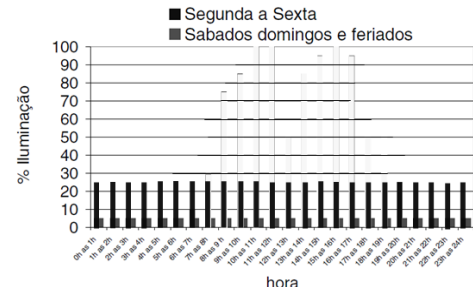
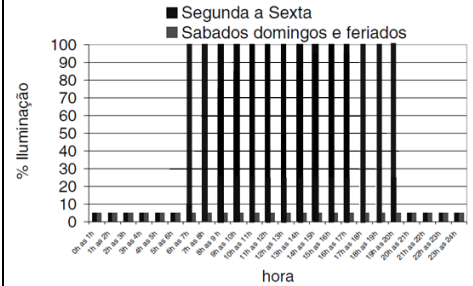
- Se iluminação natural superior a 500 lux, iluminação artificial encontra-se desligada;
- Se iluminação natural inferior a 500 lux, iluminação artificial encontra-se ligada;

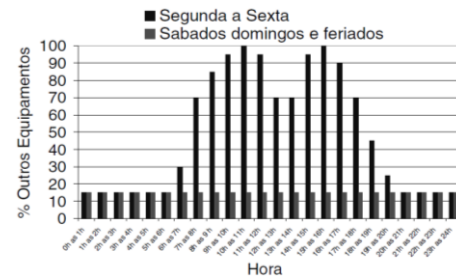


- ✓ Dia seguinte a se ter esquecido de desligar a iluminação



- ✓ Iluminação fica ligada durante todo o fim-de-semana

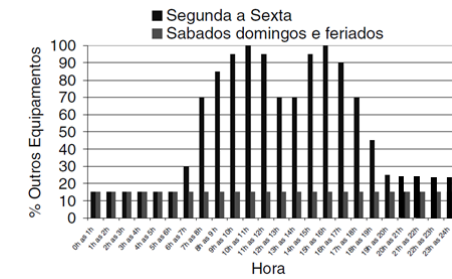
			 <p>✓ Ocupante deixa a iluminação ligada durante o horário útil de trabalho.</p> 
Equipamentos	Interage com os equipamentos conforme o perfil de utilização da iluminação estabelecido no RSECE para os edifícios de escritórios;	Ocupante eficiente tem a preocupação de optar por um plano de energia de poupança reduzindo o desempenho dos computadores sempre que possível em vez de utilizar o plano de energia equilibrado em que equilibra automaticamente o desempenho com o consumo de energia disponível.	<p>Ocupante esquece-se de desligar os equipamentos durante 5,10 e 20% dos dias durante o ano:</p> <p>1) Ocupante esquece-se de desligar equipamentos durante a semana exceto sexta-feira:</p> <p>✓ Dia em que se esquece de desligar equipamentos</p> <p>✓ Dia seguinte a se ter esquecido de desligar</p>



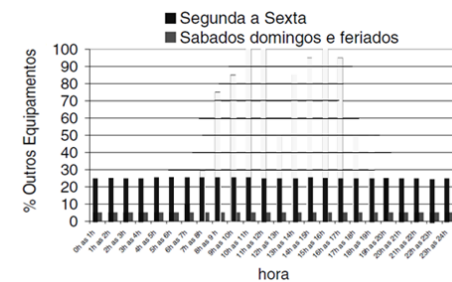
os equipamentos

2) Ocupante esquece-se de desligar equipamentos à sexta-feira:

- ✓ Dia em que se esquece de desligar equipamentos

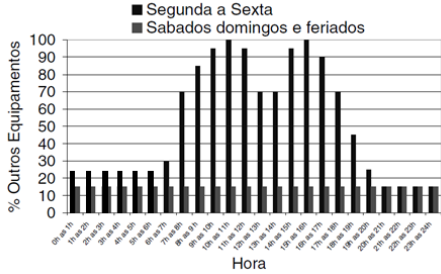


- ✓ Equipamentos ficam ligados durante todo o fim-de-semana



- ✓ Dia após equipamentos ligados durante todo o fim-de-semana/semana

--	--	--



✓ Ocupante deixa os equipamentos ligados durante o horário útil de trabalho



Apêndice C – Dias em que o ocupante se esquece de desligar AVAC, Iluminação e Equipamentos

Tabela 11 - 5% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC

5% Esquecimento AVAC - 19 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
24	24-Jan	quinta-feira, 24 de Janeiro de 2013	177	26-Jun	quarta-feira, 26 de Junho de 2013
49	18-Fev	segunda-feira, 18 de Fevereiro de 2013	192	11-Jul	quinta-feira, 11 de Julho de 2013
56	25-Fev	segunda-feira, 25 de Fevereiro de 2013	204	23-Jul	terça-feira, 23 de Julho de 2013
70	11-Mar	segunda-feira, 11 de Março de 2013	253	10-Set	terça-feira, 10 de Setembro de 2013
79	20-Mar	quarta-feira, 20 de Março de 2013	259	16-Set	segunda-feira, 16 de Setembro de 2013
87	28-Mar	quinta-feira, 28 de Março de 2013	268	25-Set	quarta-feira, 25 de Setembro de 2013
106	16-Abr	terça-feira, 16 de Abril de 2013	301	28-Out	segunda-feira, 28 de Outubro de 2013
127	07-Mai	terça-feira, 7 de Maio de 2013	353	19-Dez	quinta-feira, 19 de Dezembro de 2013
133	13-Mai	segunda-feira, 13 de Maio de 2013	364	30-Dez	segunda-feira, 30 de Dezembro de 2013
156	05-Jun	quarta-feira, 5 de Junho de 2013			

Tabela 12 - 5% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos

5% Esquecimento Iluminação e Equipamentos - 19 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
11	11-Jan	sexta-feira, 11 de Janeiro de 2013	129	09-Mai	quinta-feira, 9 de Maio de 2013
43	12-Fev	terça-feira, 12 de Fevereiro de 2013	249	06-Set	sexta-feira, 6 de Setembro de 2013
53	22-Fev	sexta-feira, 22 de Fevereiro de 2013	318	14-Nov	quinta-feira, 14 de Novembro de 2013
81	22-Mar	sexta-feira, 22 de Março de 2013	338	04-Dez	quarta-feira, 4 de Dezembro de 2013
116	26-Abr	sexta-feira, 26 de Abril de 2013			

Tabela 13 — 10% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC

10% Esquecimento AVAC - 37 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
3	03-Jan	quinta-feira, 3 de Janeiro de 2013	196	15-Jul	segunda-feira, 15 de Julho de 2013
17	17-Jan	quinta-feira, 17 de Janeiro de 2013	210	29-Jul	segunda-feira, 29 de Julho de 2013
22	22-Jan	terça-feira, 22 de Janeiro de 2013	201	06-Set	sexta-feira, 6 de Setembro de 2013
36	05-Fev	terça-feira, 5 de Fevereiro de 2013	259	16-Set	segunda-feira, 16 de Setembro de 2013
49	18-Fev	segunda-feira, 18 de Fevereiro de 2013	269	26-Set	quinta-feira, 26 de Setembro de 2013
65	06-Mar	quarta-feira, 6 de Março de 2013	280	07-Out	segunda-feira, 7 de Outubro de 2013
84	25-Mar	segunda-feira, 25 de Março de 2013	289	16-Out	quarta-feira, 16 de Outubro de 2013
107	17-Abr	quarta-feira, 17 de Abril de 2013	308	04-Nov	segunda-feira, 4 de Novembro de 2013
116	26-Abr	sexta-feira, 26 de Abril de 2013	319	15-Nov	sexta-feira, 15 de Novembro de 2013
130	10-Mai	sexta-feira, 10 de Maio de 2013	324	20-Nov	quarta-feira, 20 de Novembro de 2013
150	30-Mai	quinta-feira, 30 de Maio de 2013	336	02-Dez	segunda-feira, 2 de Dezembro de 2013
165	14-Jun	sexta-feira, 14 de Junho de 2013	353	19-Dez	quinta-feira, 19 de Dezembro de 2013

178	27-Jun	quinta-feira, 27 de Junho de 2013	364	30-Dez	segunda-feira, 30 de Dezembro de 2013
189	08-Jul	segunda-feira, 8 de Julho de 2013			

Tabela 14 - 10% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos

10% Esquecimento Iluminação e Equipamentos - 37 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
4	04-Jan	sexta-feira, 4 de Janeiro de 2013	179	28-Jun	sexta-feira, 28 de Junho de 2013
32	01-Fev	sexta-feira, 1 de Fevereiro de 2013	207	26-Jul	sexta-feira, 26 de Julho de 2013
53	22-Fev	sexta-feira, 22 de Fevereiro de 2013	249	06-Set	sexta-feira, 6 de Setembro de 2013
67	08-Mar	sexta-feira, 8 de Março de 2013	299	25-Out	sexta-feira, 25 de Outubro de 2013
109	19-Abr	sexta-feira, 19 de Abril de 2013	319	15-Nov	sexta-feira, 15 de Novembro de 2013
130	10-Mai	sexta-feira, 10 de Maio de 2013	354	20-Dez	sexta-feira, 20 de Dezembro de 2013

Tabela 15 - 20% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar o sistema AVAC

20% Esquecimento AVAC - 73 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
4	04-Jan	sexta-feira, 4 de Janeiro de 2013	186	05-Jul	sexta-feira, 5 de Julho de 2013
11	11-Jan	sexta-feira, 11 de Janeiro de 2013	193	12-Jul	sexta-feira, 12 de Julho de 2013
18	18-Jan	sexta-feira, 18 de Janeiro de 2013	200	19-Jul	sexta-feira, 19 de Julho de 2013
25	25-Jan	sexta-feira, 25 de Janeiro de 2013	207	26-Jul	sexta-feira, 26 de Julho de 2013
37	06-Fev	quarta-feira, 6 de Fevereiro de 2013	248	05-Set	quinta-feira, 5 de Setembro de 2013
44	13-Fev	quarta-feira, 13 de Fevereiro de 2013	255	12-Set	quinta-feira, 12 de Setembro de 2013
51	20-Fev	quarta-feira, 20 de Fevereiro de 2013	262	19-Set	quinta-feira, 19 de Setembro de 2013
58	27-Fev	quarta-feira, 27 de Fevereiro de 2013	269	26-Set	quinta-feira, 26 de Setembro de 2013

95	05-Abr	sexta-feira, 5 de Abril de 2013	280	07-Out	segunda-feira, 7 de Outubro de 2013
102	12-Abr	sexta-feira, 12 de Abril de 2013	287	14-Out	segunda-feira, 14 de Outubro de 2013
109	19-Abr	sexta-feira, 19 de Abril de 2013	294	21-Out	segunda-feira, 21 de Outubro de 2013
116	26-Abr	sexta-feira, 26 de Abril de 2013	301	28-Out	segunda-feira, 28 de Outubro de 2013
126	06-Mai	segunda-feira, 6 de Maio de 2013	312	08-Nov	sexta-feira, 8 de Novembro de 2013
133	13-Mai	segunda-feira, 13 de Maio de 2013	319	15-Nov	sexta-feira, 15 de Novembro de 2013
140	20-Mai	segunda-feira, 20 de Maio de 2013	326	22-Nov	sexta-feira, 22 de Novembro de 2013
147	27-Mai	segunda-feira, 27 de Maio de 2013	333	29-Nov	sexta-feira, 29 de Novembro de 2013
155	04-Jun	terça-feira, 4 de Junho de 2013	339	05-Dez	quinta-feira, 5 de Dezembro de 2013
162	11-Jun	terça-feira, 11 de Junho de 2013	346	12-Dez	quinta-feira, 12 de Dezembro de 2013
169	18-Jun	terça-feira, 18 de Junho de 2013	353	19-Dez	quinta-feira, 19 de Dezembro de 2013
176	25-Jun	terça-feira, 25 de Junho de 2013	360	26-Dez	quinta-feira, 26 de Dezembro de 2013

Tabela 16 - 20% dos dias durante o ano em que o ocupante se esquece de desligar a iluminação e os equipamentos

20% Esquecimento Iluminação e Equipamentos- 73 dias líquidos					
nº do dia	Data	Dia da semana	nº do dia	Data	Dia da semana
4	04-Jan	sexta-feira, 4 de Janeiro de 2013	186	05-Jul	sexta-feira, 5 de Julho de 2013
11	11-Jan	sexta-feira, 11 de Janeiro de 2013	193	12-Jul	sexta-feira, 12 de Julho de 2013
18	18-Jan	sexta-feira, 18 de Janeiro de 2013	200	19-Jul	sexta-feira, 19 de Julho de 2013
25	25-Jan	sexta-feira, 25 de Janeiro de 2013	207	26-Jul	sexta-feira, 26 de Julho de 2013
37	06-Fev	quarta-feira, 6 de Fevereiro de 2013	248	05-Set	quinta-feira, 5 de Setembro de 2013
44	13-Fev	quarta-feira, 13 de Fevereiro de 2013	255	12-Set	quinta-feira, 12 de Setembro de 2013
51	20-Fev	quarta-feira, 20 de Fevereiro de 2013	262	19-Set	quinta-feira, 19 de Setembro de 2013
58	27-Fev	quarta-feira, 27 de Fevereiro de 2013	269	26-Set	quinta-feira, 26 de Setembro de 2013

95	05-Abr	sexta-feira, 5 de Abril de 2013	280	07-Out	segunda-feira, 7 de Outubro de 2013
102	12-Abr	sexta-feira, 12 de Abril de 2013	287	14-Out	segunda-feira, 14 de Outubro de 2013
109	19-Abr	sexta-feira, 19 de Abril de 2013	294	21-Out	segunda-feira, 21 de Outubro de 2013
116	26-Abr	sexta-feira, 26 de Abril de 2013	301	28-Out	segunda-feira, 28 de Outubro de 2013
126	06-Mai	segunda-feira, 6 de Maio de 2013	312	08-Nov	sexta-feira, 8 de Novembro de 2013
133	13-Mai	segunda-feira, 13 de Maio de 2013	319	15-Nov	sexta-feira, 15 de Novembro de 2013
140	20-Mai	segunda-feira, 20 de Maio de 2013	326	22-Nov	sexta-feira, 22 de Novembro de 2013
147	27-Mai	segunda-feira, 27 de Maio de 2013	333	29-Nov	sexta-feira, 29 de Novembro de 2013
155	04-Jun	terça-feira, 4 de Junho de 2013	339	05-Dez	quinta-feira, 5 de Dezembro de 2013
162	11-Jun	terça-feira, 11 de Junho de 2013	346	12-Dez	quinta-feira, 12 de Dezembro de 2013
169	18-Jun	terça-feira, 18 de Junho de 2013	353	19-Dez	quinta-feira, 19 de Dezembro de 2013
176	25-Jun	terça-feira, 25 de Junho de 2013	360	26-Dez	quinta-feira, 26 de Dezembro de 2013

Apêndice D – Resultados das simulações dinâmica

Tabela 17 – Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado no Porto

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	10899,77	100	2803,15	100	621,00	100	2866,04	100	4609,58	100
Eficiente AVAC	10733,02	-1,53	2644,16	-5,67	613,24	-1,25	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 5%D	11126,71	2,08	3049,71	8,80	601,38	-3,16	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 10%D	11458,78	5,13	3391,17	20,98	590,99	-4,83	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 20%D	12479,52	14,49	4369,17	55,87	634,73	2,21	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Eficiente Iluminação	8668,89	-20,47	3065,74	9,37	462,30	-25,56	532,27	-81,43	4609,58	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	12285,23	12,71	2571,51	-8,26	691,74	11,39	4412,39	53,95	4609,58	0,00
Iluminação 5%D	10975,39	0,69	2797,01	-0,22	623,99	0,48	2944,81	2,75	4609,58	0,00
Iluminação 10%D	11054,85	1,42	2792,9	-0,37	626,39	0,87	3025,98	5,58	4609,58	0,00
Iluminação 20%D	11178,61	2,56	2778,59	-0,88	630,30	1,50	3160,14	10,26	4609,58	0,00
Eficiente Equipamento	9754,77	-10,50	2964,07	5,74	544,29	-12,35	2866,04	0,00	3380,36	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	12010,61	10,19	2603	-7,14	690,03	11,12	2866,04	0,00	5851,54	26,94
Equipamento 5%D	10944,51	0,41	2800,25	-0,10	622,64	0,26	2866,04	0,00	4655,58	1,00
Equipamento 10%D	11003,37	0,95	2796,27	-0,25	624,45	0,56	2866,04	0,00	4716,62	2,32
Equipamento 20%D	11092,51	1,77	2787,28	-0,57	627,49	1,05	2866,04	0,00	4811,71	4,38

Tabela 18 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado em Lisboa

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	11619,66	100	2033,61	100	2110,43	100	2866,04	100	4609,58	100
Eficiente AVAC	11415,98	-1,75	1867,69	-8,16	2072,66	-1,79	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 5%D	11820,27	1,73	2235,35	9,92	2109,30	-0,05	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 10%D	12004,2	3,31	2419,19	18,96	2109,39	-0,05	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 20%D	12930,07	11,28	3310,03	62,77	2144,43	1,61	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Eficiente Iluminação	9078,73	-21,87	2244,01	10,35	1759,03	-16,65	466,11	-83,74	4609,58	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	13140,19	13,09	1840,1	-9,52	2278,12	7,95	4412,39	53,95	4609,58	0,00
Iluminação 5%D	11696,07	0,66	2028,88	-0,23	2112,80	0,11	2944,81	2,75	4609,58	0,00
Iluminação 10%D	11780,86	1,39	2025,39	-0,40	2119,91	0,45	3025,98	5,58	4609,58	0,00
Iluminação 20%D	11912,11	2,52	2014,05	-0,96	2128,34	0,85	3160,14	10,26	4609,58	0,00
Eficiente Equipamento	10303,53	-11,33	2100,6	3,29	1956,52	-7,29	2866,04	0,00	3380,36	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	12866,18	10,73	1868,5	-8,12	2280,10	8,04	2866,04	0,00	5851,54	26,94
Equipamento 5%D	11664,63	0,39	2031,43	-0,11	2111,59	0,05	2866,04	0,00	4655,58	1,00
Equipamento 10%D	11727,27	0,93	2028,16	-0,27	2116,47	0,29	2866,04	0,00	4716,62	2,32
Equipamento 20%D	11818,08	1,71	2020,44	-0,65	2119,89	0,45	2866,04	0,00	4811,71	4,38

Tabela 19 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o pequeno edifício de serviços situado em Faro

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	11245,23	100	1274,97	100	2494,64	100	2866,04	100	4609,58	100
Eficiente AVAC	11099,6	-1,30	1160,43	-8,98	2463,55	-1,25	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 5%D	11438,77	1,72	1463,1	14,76	2500,05	0,22	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 10%D	11518,23	2,43	1600,62	25,54	2442,00	-2,11	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Ineficiente AVAC 20%D	12269,54	9,11	2200,41	72,59	2593,50	3,96	2866,04	0,00	4609,58	0,00
Eficiente Iluminação	8743,16	-22,25	1018,22	-20,14	2727,05	9,32	418,09	-85,41	4609,58	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	12887,54	14,60	1132,04	-11,21	2733,53	9,58	4412,39	53,95	4609,58	0,00
Iluminação 5%D	11321,7	0,68	1270,39	-0,36	2496,92	0,09	2944,81	2,75	4609,58	0,00
Iluminação 10%D	11405,42	1,42	1267,9	-0,55	2501,96	0,29	3025,98	5,58	4609,58	0,00
Iluminação 20%D	11546,7	2,68	1261,25	-1,08	2515,73	0,85	3160,14	10,26	4609,58	0,00
Eficiente Equipamento	9843,56	-12,46	1318,53	3,42	2278,64	-8,66	2866,04	0,00	3380,36	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	12596,28	12,01	1151,5	-9,68	2727,20	9,32	2866,04	0,00	5851,54	26,94
Equipamento 5%D	11290,31	0,40	1272,89	-0,16	2495,80	0,05	2866,04	0,00	4655,58	1,00
Equipamento 10%D	11352,38	0,95	1270,22	-0,37	2499,51	0,20	2866,04	0,00	4716,62	2,32
Equipamento 20%D	11450,91	1,83	1265,45	-0,75	2507,72	0,52	2866,04	0,00	4811,71	4,38

Tabela 20 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado no Porto

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	937819,1	100	540997,5	100	16492,07	100	145812,5	100	234517,03	100
Eficiente AVAC	892187,5	-4,87	495181,1	-8,47	16431,05	-0,37	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 5%D	981861,7	4,70	585205,3	8,17	16326,80	-1,00	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 10%D	1036718	10,55	640671,1	18,42	15717,59	-4,70	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 20%D	1224842	30,61	825103,6	52,52	19408,76	17,69	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Eficiente Iluminação	920135,1	-1,89	557126,08	2,98	14462,39	-12,31	114029,5	-21,80	234517,03	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	963907,4	2,78	499404,1	-7,69	18729,54	13,57	211256,75	44,88	234517,03	0,00
Iluminação 5%D	939400,2	0,17	539111,99	-0,35	16522,21	0,18	149248,95	2,36	234517,03	0,00
Iluminação 10%D	942641,9	0,51	537471,87	-0,65	16703,13	1,28	153949,89	5,58	234517,03	0,00
Iluminação 20%D	945562,80	0,83	533333,67	-1,42	16936,86	2,70	160775,18	10,26	234517,03	0,00
Eficiente Equipamento	910000,6	-2,97	578602,3	6,95	13606,67	-17,50	145812,5	0,00	171979,20	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	959248,40	2,29	496790,41	-8,17	18942,58	14,86	145812,5	0,00	297702,97	26,94
Equipamento 5%D	939265,70	0,15	540013,41	-0,18	16582,53	0,55	145812,5	0,00	236857,25	1,00
Equipamento 10%D	941171,90	0,36	538779,69	-0,41	16617,09	0,76	145812,5	0,00	239962,54	2,32
Equipamento 20%D	943223,40	0,58	535858,07	-0,95	16752,31	1,58	145812,5	0,00	244800,50	4,38

Tabela 21 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado em Lisboa

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	895576,4	100	415497	100	99749,80	100	145812,5	100	234517,03	100
Efficiente AVAC	859774,6	-4,00	380854,1	-8,34	98590,92	-1,16	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Inefficiente AVAC 5%D	928336	3,66	449432	8,17	98574,46	-1,18	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Inefficiente AVAC 10%D	958635,3	7,04	481126,7	15,80	97179,04	-2,58	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Inefficiente AVAC 20%D	1134890	26,72	650948,7	56,67	103611,50	3,87	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Efficiente Iluminação	868298,40	-3,05	429703,80	3,42	91915,03	-7,85	112162,60	-23,08	234517,03	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	936441,40	4,56	380313,60	-8,47	110354,00	10,63	211256,80	44,88	234517,03	0,00
Iluminação 5%D	897497,20	0,21	413898,70	-0,38	99832,51	0,08	149249,00	2,36	234517,03	0,00
Iluminação 10%D	901437,10	0,65	412471,90	-0,73	100498,20	0,75	153949,90	5,58	234517,03	0,00
Iluminação 20%D	905263,10	1,08	408696,50	-1,64	101274,30	1,53	160775,20	10,26	234517,03	0,00
Efficiente Equipamento	852832,6	-4,77	447314,2	7,66	87726,80	-12,05	145812,5	0,00	171979,20	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	931909,40	4,06	376463,70	-9,39	111930,10	12,21	145812,5	0,00	297703,00	26,94
Equipamento 5%D	897216,40	0,18	414683,90	-0,20	99862,79	0,11	145812,5	0,00	236857,30	1,00
Equipamento 10%D	899582,80	0,45	413615,10	-0,45	100192,70	0,44	145812,5	0,00	239962,50	2,32
Equipamento 20%D	902006,30	0,72	410810,20	-1,13	100583,10	0,84	145812,5	0,00	244800,50	4,38

Tabela 22 - Resultados obtidos através das simulações realizadas para todos os perfis para o grande edifício de serviços situado em Faro

	Consumo total de energia [kWh]	%	Aquecimento [kWh/ano]	%	Arrefecimento [kWh/ano]	%	Iluminação [kWh/ano]	%	Equipamento [kWh/ano]	%
Referência	742660,2	100	277060,1	100	85270,55	100	145812,5	100	234517,03	100
Eficiente AVAC	714824,2	-3,75	250808,2	-9,48	83686,46	-1,86	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 5%D	774786,8	4,33	310256,8	11,98	84200,44	-1,25	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 10%D	797764,8	7,42	334490,2	20,73	82945,09	-2,73	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Ineficiente AVAC 20%D	924505,6	24,49	452234,1	63,23	91941,94	7,82	145812,5	0,00	234517,03	0,00
Eficiente Iluminação	707715,90	-4,71	288743,50	4,22	75893,58	-11,00	108561,80	-25,55	234517,03	0,00
Iluminação Dia Todo Ligada	792457,10	6,71	249527,00	-9,94	97156,29	13,94	211256,80	44,88	234517,03	0,00
Iluminação 5%D	744656,90	0,27	275558,40	-0,54	85332,48	0,07	149249,00	2,36	234517,03	0,00
Iluminação 10%D	748713,90	0,82	274172,80	-1,04	86074,26	0,94	153949,90	5,58	234517,03	0,00
Iluminação 20%D	754156,80	1,55	271764,20	-1,91	87100,45	2,15	160775,20	10,26	234517,03	0,00
Eficiente Equipamento	691278,90	-6,92	301171,80	8,70	72315,40	-15,19	145812,5	0,00	171979,20	-26,67
Equipamento Dia Todo Ligado	789158,30	6,26	247729,80	-10,59	97912,95	14,83	145812,5	0,00	297703,00	26,94
Equipamento 5%D	744337,60	0,23	276295,30	-0,28	85372,45	0,12	145812,5	0,00	236857,30	1,00
Equipamento 10%D	746802,40	0,56	275270,50	-0,65	85756,86	0,57	145812,5	0,00	239962,50	2,32
Equipamento 20%D	750199,30	1,02	273329,80	-1,35	86256,55	1,16	145812,5	0,00	244800,50	4,38

Tabela 23 – Resultados obtidos na simulação do consumo de energia específico através da combinação dos comportamentos dos ocupantes para os pequenos edifícios de serviços localizados nas três cidades

	PORTO		LISBOA		FARO	
	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%
Ocupante ineficiente 5%Dias	11.230,37	3,03	11.862,71	2,09	11.499,44	2,26
Ocupante ineficiente 10%Dias	11.531,4	5,79	12.024,37	3,48	11.615,29	3,29
Ocupante ineficiente 20%Dias	12.884,66	18,21	13.293,79	14,41	12.700,92	12,94
Ocupante eficiente	7307,67	-32,96	7582,27	-34,75	6942,35	-38,26

Tabela 24 - Resultados obtidos na simulação do consumo de energia específico através da combinação dos comportamentos dos ocupantes para os grandes edifícios de serviços localizados nas três cidades

	PORTO		LISBOA		FARO	
	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%	<i>Consumo total de energia [kWh]</i>	%
Ocupante ineficiente 5%Dias	984.714,70	5,00	931.716,10	4,04	778.358,50	4,81
Ocupante ineficiente 10%Dias	1.037.797,00	10,66	961.023,40	7,31	801.188,70	7,88
Ocupante ineficiente 20%Dias	1.235.197,00	31,71	1.148.941,00	28,29	944.071,50	27,12
Ocupante eficiente	846069,4	-9,78	790244,5	-11,76	629336,8	-15,26

ANEXOS

Anexo I – Dados retirados do RCCTE E RSECE

Elemento da envolvente	(U-W/m ² °C)			
	Zona climática (*)			
	I ₁	I ₂	I ₃	RA (**)
Elementos exteriores em zona corrente:				
Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40
Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,40	0,80
Elementos interiores em zona corrente (**):				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1	2
Zonas opacas horizontais	1	0,90	0,80	1,25
Envidraçados (***)	4,30	3,30	3,30	4,30

Figura 38 – Coeficientes de transmissão térmica de referência estabelecidos no [8]

ANEXO VI			
Caudais mínimos de ar novo			
Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazenamento		5
	Vestibúlos		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de <i>cocktail</i>	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/suítes	30	
	Corredores/átrios		5
Entretenimento	Corredores/átrios		5
	Auditório	30	
	Zona do palco, estúdios	30	
	Café/foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	
Serviços	Gabinets	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

Figura 39 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos para edifícios de serviços [7]